



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

**EFEITO DE AMBIENTES CONTRASTANTES NA PRODUÇÃO FLORESTAL
E NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus***

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

BRUNELA POLLASTRELLI RODRIGUES

**EFEITO DE AMBIENTES CONTRASTANTES NA PRODUÇÃO E NAS
PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira
Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

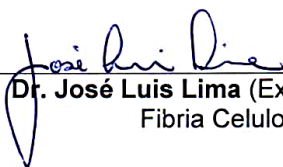
2017

**EFEITO DE AMBIENTES CONTRASTANTES NA PRODUÇÃO E NAS
PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus***

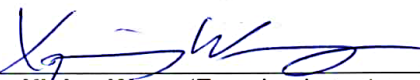
Brunela Pollastrelli Rodrigues

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 30 de agosto de 2017.



Dr. José Luis Lima (Examinador externo)
Fibria Celulose S.A.



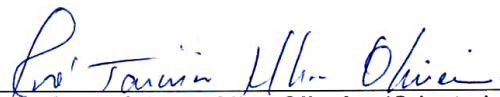
Dr. Xiping Wang (Examinador externo)
Forest Service-USDA



Prof. Dr. Djeison Cesar Batista (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Profª. Drª. Graziela Baptista Vidaurre (Coorientadora)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

P771 Pollastreli Rodrigues, Brunela, 1986-
: Efeito de ambientes contrastantes na produção florestal e nas
propriedades da madeira de clones de Eucalyptus / Brunela
Pollastreli Rodrigues. - 2017.
70 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.
Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.
Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Eucalitpto. 2. Interação genótipo-ambiente. 3. Estabilidade. 4.
Crescimento. 5. Madeira. 6. Produtos florestais. I. da Silva
Oliveira, José Tarcísio. II. Baptista Vidaurre, Graziela. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 630*38

À minha amada tia Mara Augusta Pollastreli (*in
memorian*). Ela era uma das pessoas que mais
torciam por mim. Meu carinho eterno, “tia Guta”.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus. Esse ser superior que me sustentou e me deu forças para continuar sempre que as minhas energias se esgotavam. Nele busquei consolo e luz sempre que precisei.

Agradeço à toda minha família, minha base, meu exemplo, meus alicerces de vida. Em especial, agradeço à minha mãe, Margarete Pollastrelli Rodrigues, aos meus avós, Valdira e Miguel Pollastrelli e aos meus tios alegreses Sebastiana e Lastênio Costa. Agradeço ainda à minha irmã, Mirella Polastrelli Rodrigues, aos meus tios e primos tão especiais, por compreenderem minha ausência em tantos momentos importantes. Sou muito feliz por ter tido vocês me incentivando e me apoiando ao longo dos anos.

Sou grata ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGCF/Ufes) pela oportunidade de qualificação profissional em nível de mestrado e doutorado. Programa esse que vi crescer e tenho orgulho em dizer que fiz parte. Sem dúvidas, todo o sucesso é resultado de um trabalho dedicado e conjunto de professores, estudantes e servidores.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES, que por meio do Governo do estado do Espírito Santo me proporcionou uma bolsa de estudos durante o doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela oportunidade de participação do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE.

Sou grata ainda à população brasileira e ao Governo brasileiro pelo privilégio de ter estudado em uma universidade pública, gratuita e de qualidade, onde pude concluir todas as etapas da minha formação acadêmica.

Minha gratidão e admiração ao professor José Tarcísio da Silva Oliveira, que me iniciou e me conduziu por toda essa caminhada de ensino e pesquisa. Sem dúvidas, tenho imenso orgulho de ter feito parte da sua equipe por tantos anos. Apreendi e evolui muito trabalhando no Laboratório de Ciência da Madeira da Ufes (LCM/Ufes) sob sua orientação.

À professora Graziela Baptista Vidaurre, pela coorientação, convivência e amizade ao longo desses anos na pós-graduação. Sem dúvidas, levarei comigo seu incentivo e entusiasmo pela pesquisa. Obrigada pelos bons momentos de conselhos e conversas!

Ao professor Djeison Cesar Batista por fazer parte da banca examinadora e pelas valiosas contribuições no documento final. Sou grata ainda, pelas conversas sempre construtivas acerca da Ciência.

Agradeço ao Governo dos Estados Unidos da América, pela oportunidade de realizar intercâmbio durante o doutorado em um dos centros de pesquisa mais importantes na área de Tecnologia de Produtos Florestais. Minha gratidão ao *Forest Products Laboratory* – FPL, que pertence ao Serviço Florestal, Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em especial ao Dr. Xiping Wang, pela oportunidade de aprendizado na área de avaliação não destrutiva da madeira e ainda por participar como membro da banca examinadora.

Agradeço ainda aos pesquisadores do FPL Robert Ross, James Wacker e Adam Senalik por todas as oportunidades de envolvimento nos projetos de pesquisa, reuniões e pelo conhecimento compartilhado. Minha gratidão

estendida ainda à Nancy Ross, Pamela Byrd, Lujing Zhou, Leandro Passarini, Adriana Costa, Alex Wiedenhoeft, Sara Fishwild, Dwight McDonald, David Kretschmann e demais colegas do FPL, pelos bons momentos de convivência e conhecimento compartilhado durante o período de intercâmbio.

Ao pesquisador Jupiter Israel Muro Abad, da empresa Toba Pulp Lestari Tbk, pela amizade e por me iniciar nesse mundo de pesquisa aplicada dentro de uma indústria de base florestal.

Ao Braz Demuner, pesquisador da empresa Fibria Celulose S.A, um dos grandes idealizadores e incentivadores deste projeto de pesquisa.

Ao José Luis Lima, pesquisador da empresa Fibria Celulose S.A., pela orientação e auxílio nos trabalhos de coleta de campo, pesquisa, análise dos dados e por suas contribuições como membro avaliador da tese. Agradeço ainda, pela paciência, incentivo e aprendizado acerca da área de melhoramento florestal.

Agradeço imensamente à equipe de técnicos de pesquisa da Fibria Celulose S.A, que participaram da coleta do material e por toda parte técnica de campo e por viabilizarem a logística geral da melhor maneira possível. O aprendizado de campo foi enorme e levarei comigo essa dedicação e carinho pelo trabalho. Minha gratidão ao Edson Pereira, Edmundo Rangel, Adjaim Lozer, Jailson Simões, Carlos Eduardo Scardua, Julio Cesar Rosário, Almir da Silva, Joel da Conceição, Joélio da Silva, Jair Castro, Edvaldo Sales, Marcos Aires, Marcos Vassoler, Getúlio de Souza e José Antônio Roela. Enfim, a empresa Fibria Celulose S.A, por oito anos de parceria e trabalho conjunto.

Ao amigo e técnico do LCM José Geraldo Lima de Oliveira, expresso aqui minha gratidão pelos anos de convivência, aprendizado e por todo auxílio laboratorial prestado durante a tese. Ao senhor Elecy Palácio Constantino e ao senhor Gilberto Alves (*in memoriam*) pelo preparo das amostras na marcenaria. Aos técnicos Gilson Barbosa e Luciano Dias, pelo auxílio no laboratório. À técnica de laboratório, Damiele Leite Figueiredo, por toda ajuda despendida e pela boa convivência e boas conversas. Aos estagiários do LCM, Ramon Oliveira, Gehorge Silveira, Giovanni Satler, Higor Amaral e Daniela Minini pelo auxílio em algumas etapas das análises.

A todos os professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, pela convivência e ensinamentos de todos esses anos.

À Alice Soares Brito, pela amizade, cuidado e por todo auxílio despendido durante as análises químicas.

Ao professor Rômulo Môra (UFMT) e Andrei Nunes (UFSB) e aos pesquisadores Patricia K. Lebow (FPL) e Fernando Brito (UW-Madison).

Agradeço aos servidores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Valquíria Zampirolli, Elizangela de Almeida, Calebe Pereira, Marise Bitilher, Joceli Nunes, Eliane Brito e Vanessa Firmino, por todos esses anos de convivência e por serem excelentes profissionais, sempre procurando as melhores soluções para nos ajudar.

Aos amigos, sempre presentes, Daniele Gomes, Wesley Campanharo, Denise Soranso, Flávio Cipriano do Carmo, Pedro Nicó, Rômulo Môra, João Gabriel Missia da Silva, Karina Aptekmann, Andressa Hartuiq, Bruna Oliveira, Jeferson Santos e Juliana Aguiar.

Ao grupo de pesquisa de Tecnologia de Produtos Florestais do PPGCF, agradeço a ótima convivência, troca de experiências, discussões acerca de nossas pesquisas, utopias compartilhadas e os momentos de café e prosa.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pelo convívio diário, disciplinas cursadas, reuniões, eventos organizados e confraternizações de início e fim de semestre. Obrigada por tornarem a rotina e a caminhada mais branda dentro da academia.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Uesb), em especial aos professores Carlos André Leitão e Dalton Longue Júnior.

Agradeço aos amigos de perto e de longe pelos bons momentos durante a caminhada na Pós-Graduação. Foram ocasiões importantes, de muito aprendizado, resistência e superação emocional, que pude, muitas vezes, compartilhar com alguns de vocês. Acredito que pela emoção do momento, não vou conseguir citar todos os nomes aqui, mas tenho certeza que vocês sabem o lugar que ocupam.

Dessa maneira, fica aqui registrado meu sentimento de gratidão por todas as pessoas e instituições que participaram de alguma forma para minha formação, crescimento profissional e evolução pessoal durante todos esses anos despendidos ao estudo e a pesquisa. Sem dúvidas, a caminhada não termina por aqui!

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

*“É proibido chorar sem aprender,
Levantar-se um dia sem saber o que fazer
Ter medo de suas lembranças.
É proibido não rir dos problemas
Não lutar pelo que se quer,
Abandonar tudo por medo,
Não transformar sonhos em realidade.
É proibido não demonstrar amor
Fazer com que alguém pague por tuas dúvidas e mau-humor.
É proibido deixar os amigos
Não tentar compreender o que viveram juntos
Chamá-los somente quando necessita deles.
É proibido não ser você mesmo diante das pessoas,
Fingir que elas não te importam,
Ser gentil só para que se lembrem de você,
Esquecer aqueles que gostam de você.
É proibido não fazer as coisas por si mesmo,
Não crer em Deus e fazer seu destino,
Ter medo da vida e de seus compromissos,
Não viver cada dia como se fosse um último suspiro.
É proibido sentir saudades de alguém sem se alegrar,
Esquecer seus olhos, seu sorriso, só porque seus caminhos se
desencontraram,
Esquecer seu passado e pagá-lo com seu presente.
É proibido não tentar compreender as pessoas,
Pensar que as vidas deles valem mais que a sua,
Não saber que cada um tem seu caminho e sua sorte.
É proibido não criar sua história,
Deixar de dar graças a Deus por sua vida,
Não ter um momento para quem necessita de você,
Não compreender que o que a vida te dá, também te tira.
É proibido não buscar a felicidade,
Não viver sua vida com uma atitude positiva,
Não pensar que podemos ser melhores.”*

É PROIBIDO (Pablo Neruda).

RESUMO

RODRIGUES, Brunela Pollastrelli. **Efeito de ambientes contrastantes na produção e nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus***. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre.

O gênero *Eucalyptus* possui diversas espécies conhecidas por sua plasticidade, espécies que se adaptam a diversas condições edafoclimáticas. No entanto, tal fato não garante que tais espécies plantadas em condições distintas possuirão as mesmas propriedades anatômicas, físicas, químicas e, conseqüentemente, produzir madeira em quantidade e com qualidade desejada para um fim específico. As alterações que ocorrem na formação do lenho, provocadas por condições adversas de crescimento geram dificuldade na previsão do comportamento produtivo e tecnológico da madeira. Apesar de existirem muitas pesquisas relacionadas às propriedades da madeira de eucalipto, pouco se conhece a respeito da influência de ambientes de crescimento contrastantes na formação e nas propriedades da madeira de clones de eucalipto. Diante desse problema, o objetivo geral deste estudo foi avaliar o efeito de ambientes contrastantes de crescimento na produtividade e propriedades da madeira de clones de eucalipto. Para o estudo foram selecionados 20 clones em dois locais de crescimento. Em Montezuma, localizada ao norte do estado de Minas Gerais (938 m de altitude e 570 mm de precipitação) e em Nova Almeida, localizada na região litorânea do estado do Espírito Santo (90 m de altitude e precipitação média de 1267 mm). Foram amostradas cinco árvores de cada clone, em cada local de estudo, totalizando 200 árvores. De cada indivíduo foram tomadas medidas de altura e diâmetros para cálculo do Incremento Médio Anual (IMA) e coletou-se três discos na altura do DAP (1,3 m do solo) para os estudos de propriedades da madeira, em que foi quantificada a densidade básica, as características anatômicas da madeira e as propriedades química da madeira. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições. Foi realizado o teste t Student para verificar a diferença entre as médias das variáveis analisadas entre os dois locais estudados. Para verificar

o efeito da interação clone x local nas variáveis, realizou-se a ANOVA usando o teste F ($p \leq 0,05$). Para as variáveis em que a interação foi verificada, procedeu-se a análise de estabilidade e adaptabilidade dos clones utilizando o *software* Selegen. Houve interação significativa genótipos x ambientes a 5% de significância para todas as variáveis do estudo. A madeira produzida em Nova Almeida – ES, local de maior precipitação e menor amplitude térmica apresentou a maior produção em madeira e propriedades anatômicas e químicas mais desejáveis para a produção de polpa celulósica. A madeira produzida em Montezuma – MG, ambiente com maiores amplitude térmica anual e déficit hídrico, teve maiores valores para densidade básica, extrativos totais, lignina total, diâmetros de vasos, frequência de vasos e espessura de parede de fibras. A respeito das análises de estabilidade e adaptabilidade é possível selecionar alguns clones com adaptabilidade e estabilidade simultaneamente nos dois locais estudados, indicando que a possível seleção de clones estáveis. Este estudo permitiu um melhor entendimento a respeito da produção e propriedades da madeira em resposta a locais de crescimento contrastantes, auxiliando no direcionamento e na seleção de grupos de clones melhor adaptados e com maior plasticidade para diferentes condições ambientais.

Palavras-chave: florestas plantadas, genótipo x ambiente, propriedades da madeira, estabilidade, adaptabilidade.

ABSTRACT

RODRIGUES, Brunela Pollastreli. **Effect of contrasting environments on wood production and properties of *Eucalyptus* clones**. 2017. Thesis (Doctor's degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jeronimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Co-advisor: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre.

The genus *Eucalyptus* has different species known by its plasticity, species that can adapt to diverse edaphoclimatic conditions. Nevertheless, this fact does not guarantee that species planted with the different condition will present the same anatomical, physical and chemical proprieties and thereafter it will produce wood on an equal amount and desired quality to a specific purpose. The changes that occurred during the wood formation, caused by adverse growth condition creates a huge difficult to predict the productive behavior and technological of the wood. Despite the many research with the eucalyptus' wood proprieties, a little is known about the influence of contrasting growth environments on the formation and properties of wood from *Eucalyptus* clones. Based on this, this study aimed to evaluate the effect of contrasting environments on the productivity and proprieties of eucalyptus wood clones. The trees used in this study were collected at Montezuma, a city located in the north of Minas Gerais State (938m altitude and 570mm rainfall) and in Nova Almeida, Serra, located on the coast of the Espírito Santo State (90m altitude and 1267mm as average rainfall). Five trees from each clone were sampled at each study site, totaling 200 trees 100 of each locality). From them was obtained the following measures: diameter, Diameter at Breast Height – DBH (1,30m from the soil), height and volume, the Mean Annual Increment – MAI was calculated and was the bark percentage. From each tree, were collected three discs at the DAP height to the propriety studies. The basic density, wood anatomy and the wood chemistry. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD). A T- Student test was performed to verify the difference of the variables means values between the two studied localities. To verify the existence of an interaction event between the clones and local on the studied variables, an ANOVA was performed using the F Test ($p \leq 0,05$). To the variables that were verified the interaction, the stability and

adaptability of clones were performed using the Selegen software. There was significant interaction between genotypes and environments at 5% significance for all study variables. There was a significant interaction between genotypes and environments at 5% significance for all variables of this study. The wood produced in Nova Almeida - ES, the place with the highest rainfall and the lowest thermal amplitude, presented the highest production in wood and the most desirable anatomical and chemical properties for the production of cellulosic pulp. The wood produced in Montezuma – MG, site with higher temperature range and annual water deficit, showed higher values for density, extractives, lignin, vessel diameter, vessel frequency and thickness of fiber wall. About the stability and adaptability analysis, it was possible to select some clones with adaptability and stability simultaneously in the two studied sites, indicating that the possible selection of stable clones. This study allowed a better understanding of the production and properties of wood in response to contrasting growth sites, assisting in the targeting and selection of groups of clones better adapted and with greater plasticity for different environmental conditions.

Keywords: Planted forests, genotype x environment, stability, adaptability

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta, coeficiente de variação e valores médios gerais para as variáveis do estudo para 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento | 19 |
| Tabela 2. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para incremento médio anual $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ referente aos 20 clones <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento | 23 |
| Tabela 3. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para densidade básica (g cm^{-3}) referente aos 20 clones <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento..... | 24 |
| Tabela 4. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para extrativo total (%) referente aos 20 clones <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento | 26 |
| Tabela 5. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para lignina total (%) referente aos 20 clones <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento | 28 |
| Tabela 6. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para espessura de parede (μm) referente aos 20 clones <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento..... | 29 |
| Tabela 7. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para diâmetro de vasos (μm) referente aos 20 clones <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento | 31 |
| Tabela 8. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para frequência de vasos (número de vasos mm^{-2}) referente aos 20 clones <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> aos sete anos de idade em dois locais de crescimento | 33 |
| Tabela 9. Estimativa de alguns parâmetros genéticos para as variáveis do estudo referente aos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade, avaliados na análise conjunta entre os dois ambientes | 34 |
| Tabela 10. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para incremento médio anual ($\text{m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$) dos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade | 36 |
| Tabela 11. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para densidade básica (g cm^{-3}) dos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade | 38 |

| | |
|---|----|
| Tabela 12. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para extrativos totais (%) dos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade | 40 |
| Tabela 13. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para lignina total dos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade..... | 42 |
| Tabela 14. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para espessura de parede (μm) dos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade | 44 |
| Tabela 15. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para o diâmetro de vasos (μm) dos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade | 46 |
| Tabela 16. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para a frequência de vasos (n° de vasos mm^{-2}) dos 20 clones de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> aos sete anos de idade | 48 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localização das áreas de estudo..... | 9 |
| Figura 2. Distribuição da precipitação pluviométrica mensal (mm) e da variação de temperatura (°C) para Nova Almeida – ES..... | 10 |
| Figura 3. Distribuição da precipitação pluviométrica mensal (mm) e da variação de temperatura (°C) para Montezuma – MG. | 10 |
| Figura 4. Nova Almeida – ES: distribuição média da precipitação, temperatura e déficit hídrico para os meses do ano..... | 11 |
| Figura 5. Montezuma – MG: distribuição média da precipitação, temperatura e déficit hídrico para os meses do ano..... | 12 |
| Figura 6. Da esquerda para a direita: identificação da árvore coletada, medição das alturas total e comercial e cubagem rigorosa com e sem casca, respectivamente. | 14 |
| Figura 7. Esquema de amostragem utilizado para avaliação das propriedades da madeira. | 14 |
| Figura 8. Esquema de amostragem utilizado para retirada do disco para determinação da densidade básica..... | 15 |
| Figura 9. Cunhas dispostas em laboratório para determinação do volume saturado por meio do método da balança hidrostática..... | 15 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 | Objetivo geral | 3 |
| 1.2 | Objetivos específicos | 3 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 | Influência das condições ambientais na produção e propriedades da madeira de eucalipto..... | 4 |
| 2.2 | Estudos de genótipos x ambientes para produção e qualidade da madeira | 7 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 9 |
| 3.1 | Áreas de estudo | 9 |
| 3.2 | Amostragem..... | 12 |
| 3.2.1 | Variáveis de crescimento | 13 |
| 3.2.2 | Propriedades da madeira | 14 |
| 3.2.3 | Análise estatística | 17 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 4.1 | Análises estatísticas..... | 19 |
| 4.2 | Análises genéticas | 34 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 49 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 50 |

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2017), dos 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas do Brasil, 5,6 milhões de hectares são ocupados pelo gênero *Eucalyptus*. A grande extensão de áreas plantadas é resultado da alta adaptabilidade e produtividade desse gênero que supre a demanda de matéria-prima, principalmente, das empresas produtoras de carvão vegetal e celulose e papel.

A expansão de projetos de florestas plantadas de eucalipto está, cada vez mais, sendo direcionada para áreas marginais e com presença de déficit hídrico. Dessa maneira, surge a necessidade de se considerar programas específicos de desenvolvimento de genitores resistentes para se obter maior efetividade na produção de híbridos resistentes às condições adversas de crescimento (BRAWNER et al., 2013; HARDNER et al., 2011).

Como as espécies arbóreas cultivadas possuem respostas diferenciadas às condições do ambiente, tem-se discutido cada vez mais sobre a influência dos locais de crescimento e de diferentes regimes de chuvas (no âmbito das mudanças climáticas) na produtividade e na qualidade da madeira de florestas plantadas de eucalipto. Se um clone selecionado em um determinado ambiente for implantado em outra área, com características edafoclimáticas contrastantes, o mesmo poderá ter o crescimento afetado e produzir madeira com propriedades indesejadas para uma determinada utilização. Dessa forma, o suprimento de matéria-prima apropriada de uma empresa pode ser significativamente prejudicado. Em outras palavras, tais fatores ambientais poderão influenciar o incremento médio anual, as propriedades da madeira e refletir na qualidade e rendimento do produto final.

Apesar do gênero *Eucalyptus* ser a essência florestal exótica mais estudada e plantada no Brasil, existe a necessidade de pesquisas que elucidem o entendimento a respeito da interação genótipos x ambientes e as respostas que as limitações de ambientes contrastantes (solo, relevo, precipitação) poderão gerar na produção e na qualidade da madeira produzida nesses plantios clonais. Esse conhecimento fortalece a seleção de clones com as melhores expressões fenotípicas e garante a identificação de clones mais estáveis e mais

adaptáveis para a manutenção da produtividade e qualidade dos plantios comerciais de eucalipto.

Na indústria de celulose e papel, a qualidade da madeira requerida para o processo deve levar em consideração não apenas os aspectos relacionados a produção de madeira, mas também as propriedades da madeira, como a densidade básica, a constituição química e anatômica (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010). E juntamente com as informações das propriedades da madeira, as análises de estabilidade e adaptabilidade são fundamentais em programas de melhoramento florestal.

Diante do exposto, conhecer a qualidade da madeira de clones que cresceram em ambientes contrastantes auxiliará na tomada de decisão durante a seleção de materiais genéticos. Com isso, será possível indicar clones plásticos e clones específicos utilizando variáveis de crescimento e de propriedades da madeira, por meio do conhecimento da interação genótipos x ambientes na produtividade e na qualidade da madeira desses plantios.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de dois ambientes contrastantes de crescimento na produção florestal e nas propriedades da madeira de 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade.

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito dos ambientes contrastantes no incremento médio anual e nas propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira.

- Verificar a interação entre os fatores genótipos e ambientes na produção silvicultural e nas propriedades da madeira dos clones.

- Avaliar a estabilidade e a adaptabilidade para as variáveis com interações significativas.

- Indicar clones a partir da análise de adaptabilidade, estabilidade, produção florestal e propriedades da madeira para a indústria de polpa celulósica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Influência das condições ambientais na produção e propriedades da madeira de eucalipto

A madeira de eucalipto atende a demanda por biomassa lenhosa com propriedades tecnológicas específicas para diversos setores industriais, como a produção de carvão vegetal e de celulose e papel. Em relação a este último, o Brasil se consagrou como o maior produtor mundial de fibra curta de *Eucalyptus*. Tal resultado se deve aos estudos e pesquisas na área de melhoramento florestal, que permitiram o uso de algumas espécies mais produtivas e recomendadas aos plantios comerciais. Dentre as técnicas que proporcionaram o uso do eucalipto como matéria-prima para indústria de celulose está a clonagem. Esse processo é ideal para maximizar os benefícios da hibridação no contexto de formação de florestas produtivas e com madeira de qualidade específica para finalidades industriais (ASSIS; MAFIA, 2007).

O déficit hídrico pode ser apontado como um dos fatores abióticos mais importantes, juntamente com outras variáveis edafoclimáticas, nas florestas plantadas de eucalipto, uma vez que afeta diretamente o crescimento e a produtividade, em que a seleção de genótipos toleráveis é uma alternativa para contornar tal problema. Plantas sob déficit hídrico severo e contínuo, geralmente têm crescimento reduzido, podendo ocorrer injúrias irreversíveis que, geralmente, ocasionam danos ao sistema radicular, o que irá comprometer a translocação de seiva, podendo até destruir o interior das árvores (BERTI FILHO, 1993). Em plantas lenhosas a tensão da água afeta muitos processos mediados por enzimas, como por exemplo, a respiração, que geralmente é reduzida sob estresse hídrico severo, embora possa haver um aumento transitório sob estresse leve. Outro fator importante causado pelo estresse hídrico é que este afeta o metabolismo de carboidratos e suas vias de utilização. Durante a seca, as concentrações de açúcar podem aumentar em folhas e raízes, elevando assim os níveis de açúcar associados com o ajuste osmótico do tecido das plantas (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997).

Dentre os fatores que influenciam o crescimento das árvores de eucalipto, pode-se destacar aqueles relacionados à precipitação pluviométrica,

temperatura e os de cunho nutricional. Quando algum desses se comporta de maneira inesperada ou inadequada, a planta poderá responder negativamente, refletindo no seu crescimento, geralmente, na forma de um estresse fisiológico. Esse tipo de estresse é definido como um desvio significativo das condições ambientais ótimas para o desenvolvimento, sendo um fator externo que exerce influência negativa, pois induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanentes (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2002).

A maioria das plantações de eucalipto tem seu crescimento limitado pelo regime das chuvas, em que a identificação de correlações entre as condições climáticas e o incremento diamétrico anual é importante para o manejo florestal. Em estudo realizado na África do Sul por Melesse e Zewotir (2013) com híbridos de eucalipto aos dois anos de idade, concluiu-se que as variáveis climáticas, em conjunto com a idade das árvores, explicaram 79% do crescimento em diâmetro.

Assis e Mafia (2007) relataram que espécies resistentes à deficiência hídrica têm baixo crescimento, uma vez que sua dinâmica estomática, de alta sensibilidade à temperatura e umidade do ar e do solo, favorece a economia de água, prejudicando o crescimento em momentos hídricos favoráveis. Além disso, suas folhas também apresentam disposição que desfavorece a interceptação de luz e, conseqüentemente, a fotossíntese.

Em relação ao crescimento médio de florestas clonais de eucalipto, uma pesquisa realizada com os melhores clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil, demonstrou a elevada produtividade da eucaliptocultura nacional. Vinte por cento dos clones atingiram IMA (incremento médio anual) igual ou superior a 50 m³/ha/ano e 70% dos clones tiveram IMA acima de 40 m³/ha/ano (GOMIDE et al., 2005).

Uma característica que faz com que o gênero *Eucalyptus* seja amplamente empregado é a amplitude de sua densidade básica (REVISTA DA MADEIRA, 2003), o que torna a madeira dessas espécies uma fonte de matéria-prima para diversas indústrias de base florestal, especialmente as indústrias de celulose e papel. A densidade da madeira tem grande variabilidade natural, sendo dependente das condições ambientais em que é formada, ou seja, seu ritmo de crescimento é influenciado pelas condições edafoclimáticas (MITCHELL, 1958).

A densidade é uma variável importante na estimativa das propriedades da madeira, uma vez que possui uma boa correlação com as outras características tecnológicas. Tão importante quanto o crescimento em volume, a densidade básica pode limitar a escolha de um material genético de acordo com a finalidade (RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993).

Condições ambientais adversas causam alterações nos teores de lignina das plantas, por causa de alterações na biossíntese, podendo aumentar a complexidade da natureza da lignina dependendo do estresse durante o crescimento da planta (MOURA et al., 2010). Tais alterações na lignina podem afetar o processo de polpação, acarretando em menores rendimentos de celulose (RODRIGUES, 2013).

Durante a formação da parede celular a fase de lignificação é controlada principalmente pela temperatura. Em trabalho realizado por Piermattel et al. (2014), foi possível verificar tal afirmação, uma vez que os autores concluíram que existe uma forte relação entre a lignificação e os fatores ambientais, como temperatura, duração do dia e estresse hídrico.

Gomide et al. (2005) avaliaram a química da madeira de dez clones de *Eucalyptus* das principais empresas de celulose do Brasil e reportaram médias de lignina total entre 27,5 e 31,7%. Para o teor de extrativos, foram relatadas médias entre 1,76% (densidade de 0,465 g.cm⁻³) e 4,13% (densidade de 0,510 g.cm⁻³).

As variáveis anatômicas são importantes para a qualidade da madeira utilizada na produção de polpa celulósica e papel. A morfologia das células xilemáticas é dependente do ritmo e dos efeitos decorrentes do crescimento da árvore e também é influenciada pela idade do tecido cambial e, dessa forma, zonas distintas de madeira podem ser distinguidas na árvore (SILVA, 2002). Tanto o clima como o tipo de solo são fatores considerados determinantes na qualidade da madeira, pois contribuem para a qualidade do sítio e afetam diretamente a atividade cambial da árvore e, conseqüentemente, o desenvolvimento das células xilemáticas (DENNE; DODD, 1981; PRITCHETT; FISHER, 1987).

Ao estudarem a variabilidade dos elementos de vaso da madeira do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições de deficiência hídrica, Ribeiro et al. (2014) concluíram que os diâmetros dos

elementos de vasos foram menores nas condições caracterizadas como “seca intermediária” e “seca severa” em relação as condições “normal” e “início de seca”.

2.2 Estudos de genótipos x ambientes para produção e qualidade da madeira

Para avaliar o desempenho e auxiliar na seleção de materiais genéticos em diferentes ambientes são utilizadas as análises de interações genótipos x ambientes (Pupin et al., 2015; Castro et al., 2016). Segundo Oda, Mello e Souza et al. (2007), muitos estudos com melhoramento de espécies florestais têm demonstrado que as interações entre materiais genéticos e diferentes ambientes possuem respostas diferenciadas. Dessa maneira quando se pensa em estratégias de melhoramento de espécies, deve-se considerar a interação genótipo x ambiente, visando maior produtividade e utilizando materiais com maior capacidade de adaptação a diferentes regiões.

A presença da interação genótipo x ambiente nas florestas de eucalipto faz com que estudos de adaptabilidade a ambientes específicos sejam parte integrante dos programas de melhoramento florestal (ROCHA et al., 2005).

É importante ressaltar que quando a interação genótipos x ambientes é significativa representa a influência dos ambientes nos materiais genéticos estudados, como o estudo realizado por Oliveira et al. (2018). Os autores avaliaram a estabilidade e adaptabilidade para volume de madeira na seleção de *Eucalyptus saligna* em três ambientes e encontram na avaliação do estudo uma interação do tipo complexa que indicou que as progênies de *Eucalyptus saligna* diferiu entre os locais estudados.

Dessa maneira, quando a interação genótipo x ambiente for significativa, as mudanças nos ambientes estudados têm efeitos diferentes nos materiais genéticos testados. Se a interação é do tipo complexo, a estratificação dos ambientes é necessária para a seleção; isso é feito dividindo o ambiente em regiões para obter ganhos com a seleção (DVORAK et al., 2008).

Na indústria de celulose e papel, a qualidade da madeira requerida para o processo deve levar em consideração não apenas os aspectos relacionados a

produção de madeira, mas também as propriedades da madeira, como a densidade básica, a constituição química e anatômica (GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010). Juntamente com os estudos de qualidade da madeira, as análises de estabilidade e adaptabilidade são fundamentais em programas de melhoramento florestal, uma vez que tais aspectos são utilizados como ferramentas durante a recomendação de materiais genéticos nos casos em que exista interação significativa para genótipo x ambiente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; NUNES et al., 2016).

Em estudo realizado por Santos et al. (2016), os autores retratam a importância de adicionar características de qualidade da madeira às análises para o processo de seleção, pois neste estudo, os autores observaram que a cada 10 clones selecionados para o volume, quatro não seriam recomendados para agregar a característica básica de densidade da madeira.

Com o objetivo de avaliar o desempenho de clones de eucalipto em função de condições ambientais, Souza et al. (2017) estudaram 49 clones em oito ambientes. Os autores puderam concluir que os materiais genéticos estudados apresentaram grande variação no desempenho da produção em volume em diferentes ambientes e que a interação clone x ambiente foi expressiva, mostrando que, com relação ao desempenho volumétrico, a resposta dos clones não coincidiu nos diferentes locais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

O material genético utilizado no estudo proveio de um teste clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* pertencente a empresa Fibria Celulose S. A. Por meio dos testes clonais, é possível identificar quais os melhores clones em termos de produtividade no campo, considerando as diferentes condições de solo existentes (unidades de manejo), assim como em termos de adequação industrial, com base na qualidade da madeira.

O experimento foi implantado em outubro de 2007, com espaçamento 3 m x 3 m, com 339 clones em delineamento inteiramente casualizado, em dois locais: Nova Almeida, no município de Serra, região litorânea do estado do Espírito Santo (20° 05' 51" S, 40° 16' 58" W, a 90 metros de altitude e precipitação pluviométrica média de 1267 mm); e em Montezuma, norte do estado de Minas Gerais (15° 8' 35,2" S, 42° 22' 55,2" W, a 938 metros de altitude e precipitação pluviométrica média de 570 mm).

A localidade de Nova Almeida – ES possui solo classificado como argissolo amarelo distrófico, textura média/argilosa e relevo suavemente ondulado, ao passo que em Montezuma – MG o solo foi classificado como argiloso e o relevo plano (LOPES, 2009). Essas áreas foram selecionadas por apresentarem significativas diferenças relacionadas a precipitação, temperatura (amplitude térmica), altitude, solo e relevo (Figura 1).

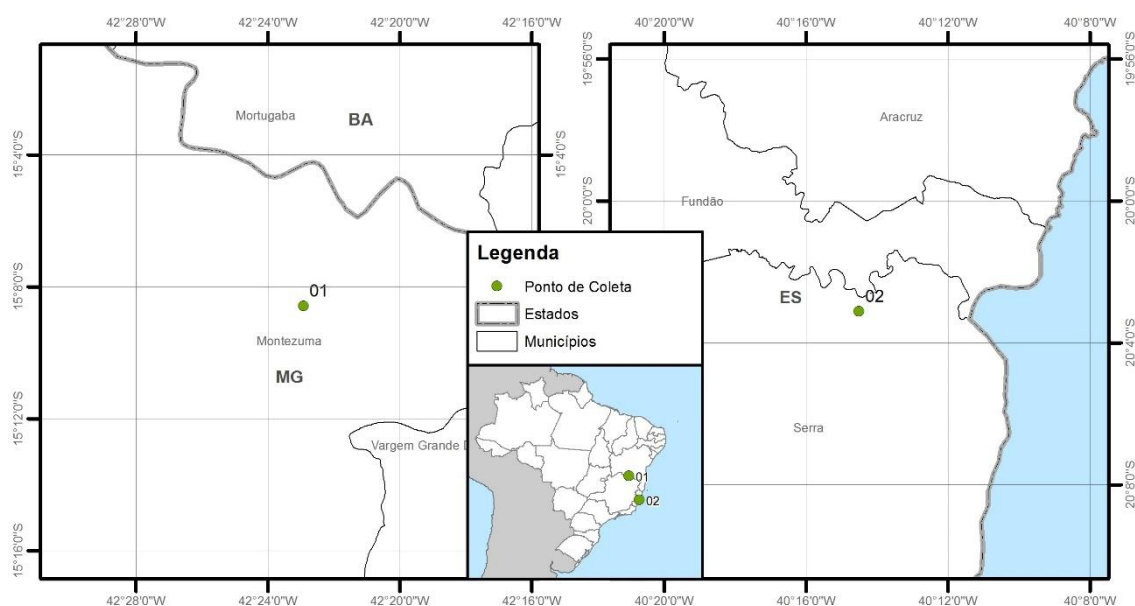


Figura 1. Localização das áreas de estudo.

Foram levantados os dados climáticos diários para construção de gráficos com a distribuição da precipitação pluviométrica e variação da temperatura para as duas localidades do estudo, desde a implantação do povoamento até a coleta das árvores, aos sete anos de idade. Esses dados podem ser vistos nas Figuras 2 e 3, respectivamente para Nova Almeida - ES e Montezuma - MG.

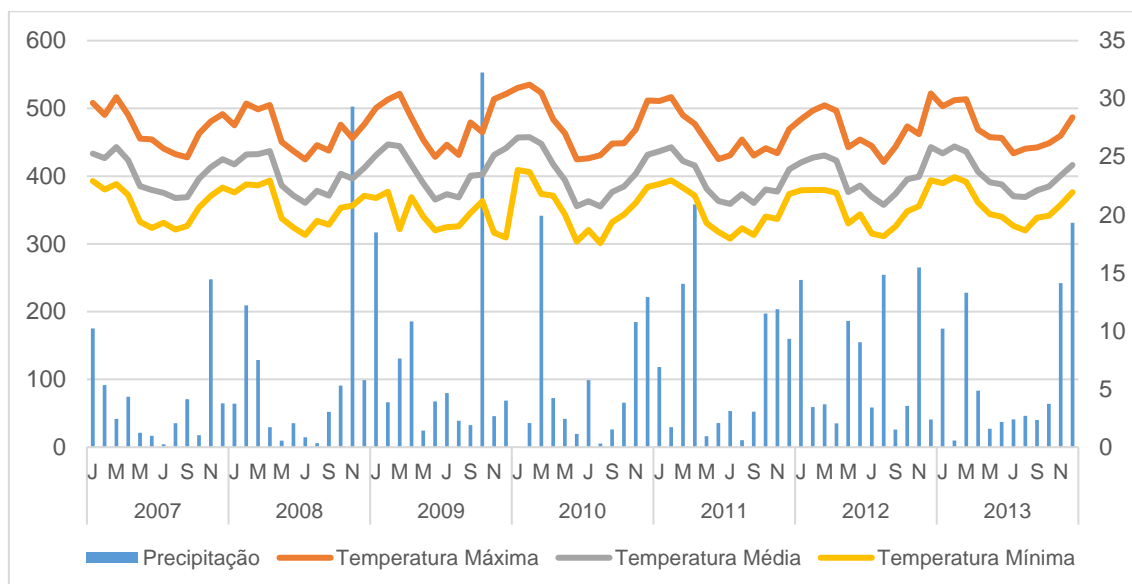


Figura 2. Distribuição da precipitação pluviométrica mensal (mm) e da variação de temperatura (°C) para Nova Almeida – ES.

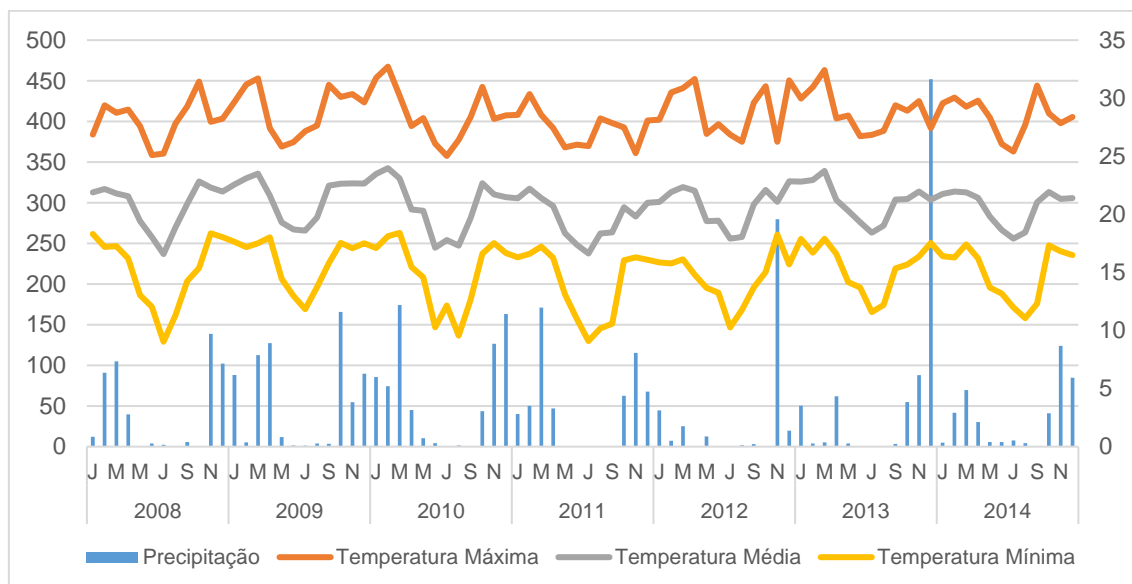


Figura 3. Distribuição da precipitação pluviométrica mensal (mm) e da variação de temperatura (°C) para Montezuma – MG.

Para melhor caracterização das áreas de coleta, foi realizada a distribuição da precipitação, da temperatura e do déficit hídrico ao longo dos meses do ano para as duas áreas (Figuras 4 e 5).

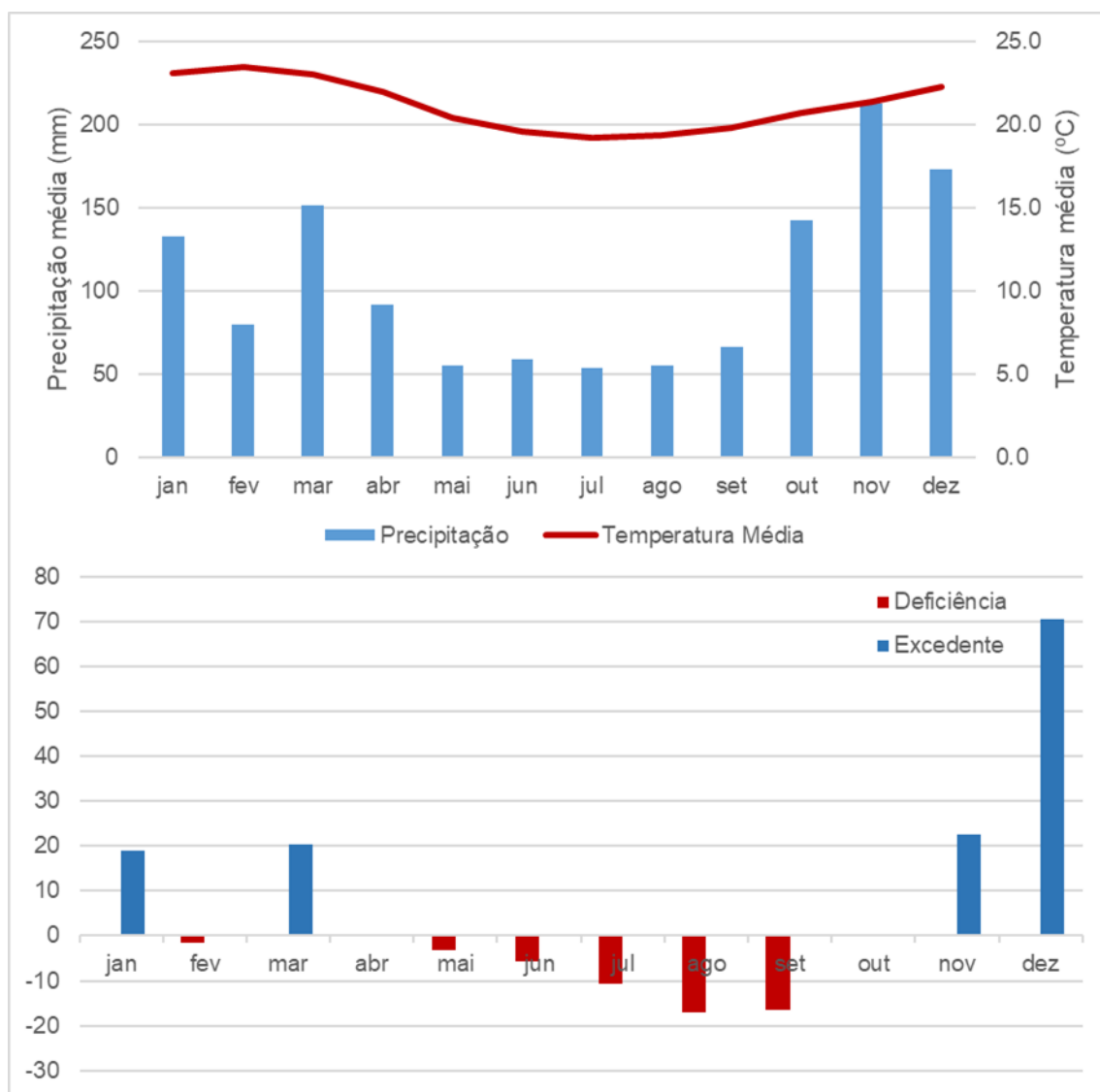


Figura 4. Nova Almeida – ES: distribuição média da precipitação, temperatura e déficit hídrico para os meses do ano

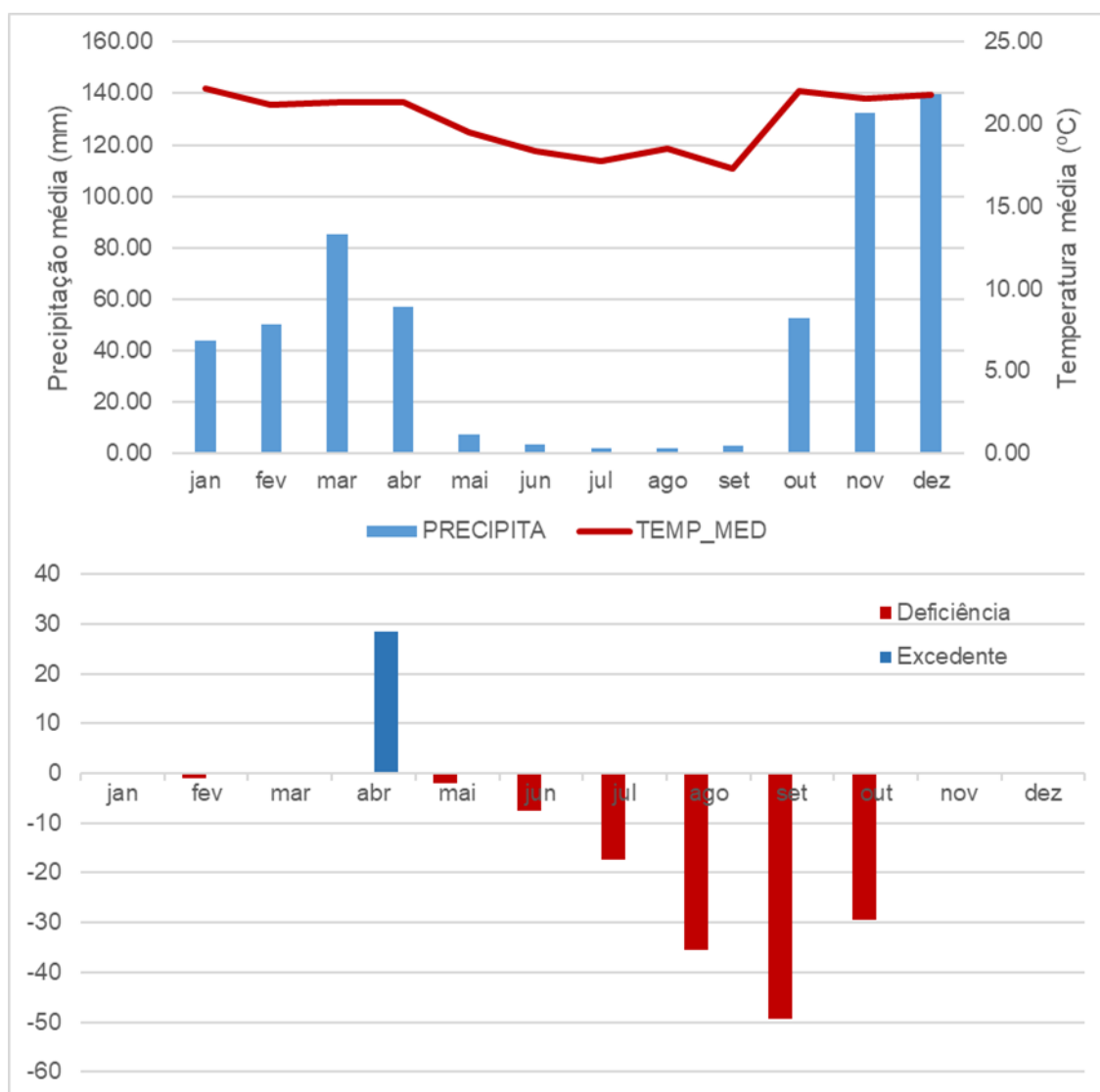


Figura 5. Montezuma – MG: distribuição média da precipitação, temperatura e déficit hídrico para os meses do ano.

3.2 Amostragem

Foram instalados dois testes clonais em dois ambientes com características edafoclimáticas contrastantes. Os locais selecionados para o estudo foi a localidade de Nova Almeida, na região litorânea do Espírito Santo e o segundo em Montezuma, localidade situada no estado de Minas Gerais.

Os testes clonais foram implantados com um total de 339 clones em cada ambiente. Aos XX anos foi realizada medição de crescimento (CAP e altura) e realizado o ordenamento dos materiais genéticos utilizando uma variável de crescimento, o diâmetro a altura do peito – DAP (1,3 m do solo).

Com o objetivo de verificar a influência dos ambientes contrastantes nas propriedades da madeira, foram selecionados, com base no ranque do DAP os dez melhores clones em cada ambiente. Vale ressaltar que os dez primeiros clones no ordenamento de Nova Almeida não estavam, necessariamente, entres os dez primeiros no ordenamento de Montezuma - MG.

Como não ocorreu a sobreposição de clones, o ordenamento totalizou um montante de 20 materiais genéticos. E com base ainda no último inventário da empresa, para cada clone, foram coletadas cinco árvores de diâmetro médio, totalizando, ao final, 100 árvores para cada localidade de estudo.

3.2.1 Variáveis de crescimento

Foram tomadas medidas do DAP de cada árvore e as alturas total (m) e comercial (m) foram medidas após a derrubada. Os volumes com e sem casca foram obtidos por meio de cubagem rigorosa seguindo o método de Smalian (Equação 1), com as medidas de diâmetro do fuste tomadas nas seguintes posições: base (0%), DAP, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90%, 95% e 100%.

$$V = \left(\frac{S1+S2}{2} \right) \times L \quad (1)$$

Em que - V: volume da seção considerada (m³); S1: área seccional de uma extremidade da seção (m²); S2: área seccional da outra extremidade da seção (m²) e L: comprimento da seção (m).

Parte da amostragem e da coleta das variáveis dendrométricas em campo pode ser verificada na Figura 6.



Figura 6. Da esquerda para a direita: identificação da árvore coletada, medição das alturas total e comercial e cubagem rigorosa com e sem casca, respectivamente.

De posse dos dados de volume individual das árvores, foi calculado o Incremento médio anual em $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (IMA) aos sete anos de idade.

$$\text{IMA} = \frac{\text{Vol } t}{\text{Idade } t} \quad (2)$$

Em que - IMA: Incremento médio anual ao final da idade de rotação; Volt: Volume do talhão no período t , em $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$; Idade t : Idade do talhão no período t , em anos.

3.2.2 Propriedades da madeira

Para a análise das propriedades da madeira foram amostrados dois discos de 30 mm de espessura retirados na altura do DAP (Figura 6).

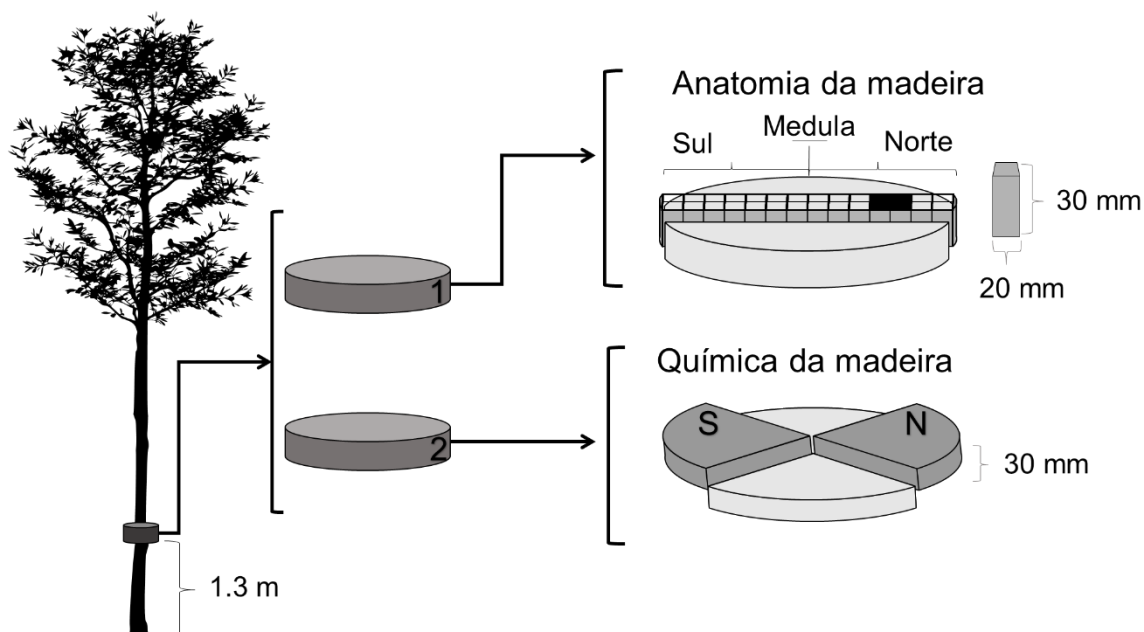


Figura 7. Esquema de amostragem utilizado para avaliação das propriedades da madeira.

Para determinar a densidade básica de cada árvore, foi utilizada a média das cunhas opostas de um disco de 3 cm retirado na altura do DAP (Figura 7), conforme o método da balança hidrostática (Figura 9) descrito na NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

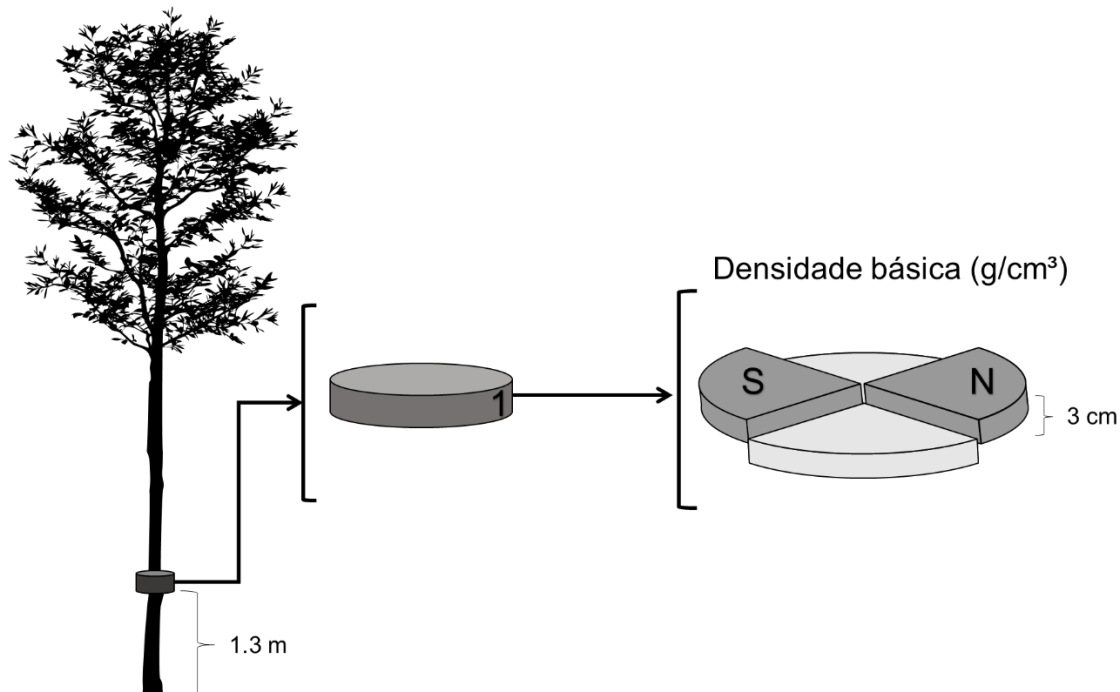


Figura 8. Esquema de amostragem utilizado para retirada do disco para determinação da densidade básica.



Figura 9. Cunhas dispostas em laboratório para determinação do volume saturado por meio do método da balança hidrostática.

As amostras foram dispostas em estufa de ventilação forçada a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, até atingirem a massa anidra, que foi medida em uma balança digital semianalítica (0,01 g). A densidade básica foi calculada pela razão entre a massa anidra e o volume saturado.

O disco 1 foi utilizado para realização das análises relacionadas à anatomia da madeira, em que dois corpos de prova para estudo foram retirados no cerne periférico (pintados em preto, Figura 6), um para a produção das lâminas histológicas e outro para o macerado. Para a caracterização anatômica da madeira dos clones, foi utilizada a norma da *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* (COPANT, 1974). As variáveis anatômicas quantificadas foram: diâmetro tangencial dos vasos (μm), frequência dos vasos (número de vasos/ mm^2) e espessura da parede (μm). Para cada variável foram realizadas 30 medições.

Para a mensuração do diâmetro e da frequência de vasos foram feitas lâminas histológicas temporárias de amostras de madeira de 1,5 x 1,5 cm de seção transversal e 2,0 cm de comprimento (direção longitudinal), que foram previamente reduzidas da amostra original e fervidas em água para amolecimento. Os cortes foram realizados em micrótomo de deslize, com uso de glicerina e água. As lâminas foram analisadas e mensuradas utilizando um microscópio óptico com câmera acoplada.

Para as mensurações das fibras do material, foi realizada a dissociação dos elementos celulares (maceração) de acordo com o método preconizado por Nicholls e Dadswell, descrito por Ramalho (1987), que consistiu em: preparo das lascas de madeira; transferência para tubos de ensaio contendo solução macerante; transferência dos tubos lacrados para estufa a 60 °C por 48 horas; lavagem da solução com água corrente; coloração do material com safranina; preparo das lâminas em glicerina para retirada das fotomicrografias. A análise e mensuração das variáveis relativas as fibras individualizadas (comprimento, largura e diâmetro do lume) seguiram a mesma rotina utilizada para os vasos.

Para realização das análises químicas da madeira, utilizou-se o disco 2 para retirada de duas cunhas opostas (Figura 6), que foram transformadas em cavacos e homogeneizados para a composição de uma amostra por árvore. Após a secagem dos cavacos, os mesmos foram moídos em moinho do tipo *Willey* e a serragem produzida foi classificada entre as peneiras de 40 e 60 mesh e aclimatizada, de acordo com a norma 264 cm-97 da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI, 1992).

De posse da serragem classificada, determinou-se o teor de extrativos totais seguindo modificações da norma 264 cm-97 (TAPPI, 1992), em que o

solvente etanol:benzeno (2:1) foi substituído pelo etanol:tolueno (2:1). Para obtenção da madeira livre de extrativos, foram pesados dois gramas de serragem e em seguida a amostra foi submetida a três extrações em diferentes solventes. A primeira extração foi realizada com a mistura de etanol:tolueno (2:1) por cinco horas, seguida por etanol durante quatro horas e, por último, em água quente por uma hora. Por fim, o material foi acondicionado para determinação da massa anidra e o teor extrativos totais foi calculado por diferença de massa.

A lignina insolúvel foi determinada de acordo com o procedimento proposto e modificado por Gomide e Demuner (1986), em que foram utilizados 0,3 g (miniamostra) da serragem livre de extrativos, que foi transferida para um tubo de ensaio ao qual foram adicionados 3 mL de ácido sulfúrico (72%). Em seguida, o conjunto foi transferido para um banho maria à temperatura de $30 \pm 0,2$ °C, durante uma hora. Durante o tempo de reação do ácido sulfúrico com a serragem, cada amostra era homogeneizada com um bastão de vidro para garantir a degradação completa do material. Finalizado o tempo da reação, cada amostra foi diluída em 84 mL de água destilada e transferida para um frasco hermeticamente fechado, que ficou acondicionado por uma hora em autoclave com água a 118 °C. Depois de retiradas da autoclave, as amostras foram filtradas em cadinhos de vidro sinterizado com a base forrada com óxido de alumínio, lavadas com água destilada e transferidas para estufa a 103 ± 2 °C até obterem massa anidra. O teor de lignina insolúvel foi obtido pela diferença de massa entre o cadinho forrado antes e após a filtragem da amostra.

Para a determinação da fração solúvel da lignina foi retirada uma amostra do filtrado obtido, que foi diluído em um litro de água destilada, conforme o método proposto por Goldshimid (1971). O teor de lignina total foi obtido pela soma das frações solúvel e insolúvel da lignina, ao passo que o teor de holocelulose foi obtido por diferença, com base nos teores de extrativos totais e lignina total.

3.2.3 Análise estatística

Em cada ambiente do estudo foi estabelecido um delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. O modelo estatístico para análise conjunta dos dados desses dois ambientes é dado por:

$Y_{ij} = m + c_i + l_j + (cl)_{ij} + \bar{e}_{ij}$, em que:

Y_{ij} : observação do clone i , no local j ;

m : média geral;

c_i : efeito do clone i ($i=1, 2, \dots, 20$);

l_j : efeito do local j ($j= 1$ e 2);

$(cl)_{ij}$: efeito da interação do clone i com o local j ;

\bar{e}_{ij} : erro experimental médio.

Para verificar, na média geral, o efeito do fator local de crescimento para cada variável, foi realizado o teste t de Student ($P \leq 0,05$). Para a verificação do efeito da interação entre clone x local, foi análise de variância (teste F); nas situações em que o efeito foi positivo ($p \leq 0,05$), foi realizado o desdobramento da interação e comparação de médias entre os clones de um mesmo local de crescimento pelo teste de Skott – Knott ($p \leq 0,05$). As análises conjuntas e individuais foram realizadas utilizando o programa R.

As análises de estabilidade e adaptabilidade foram realizadas para todas as variáveis que apresentaram interação significativa genótipos x ambientes. Tais análises foram realizadas utilizando o programa de Seleção Genética Computadorizada - Selegen-REML/BLUP, utilizando como opção o modelo 54 (Estabilidade, Adaptabilidade e Produtividade: blocos, genótipos, uma planta por parcela, vários locais).

A seleção conjunta por produtividade, estabilidade e adaptabilidade dos materiais genéticos foi baseada na estatística denominada média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) preditos, conforme descrito por Resende (2004). Todas as análises foram realizadas por meio do software Selegen-Reml/Blup.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises estatísticas

Na tabela 1 é apresentado o resumo das análises de variância conjunta para todas as características estudadas bem como os coeficientes de variação, médias gerais e médias por ambiente.

Diante dos resultados, foi possível observar que a precisão experimental foi boa, uma vez que o coeficiente de variação experimental foi menor que 16,71%.

Na média dos clones, foi observada diferença significativa entre ambientes para todas as variáveis do estudo, apresentando diferença entre os dois ambientes estudados. O mesmo resultado foi observado para a fonte de variação clone. Que a partir a média dos locais pode-se observar diferença entre os clones avaliados.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta, coeficiente de variação e valores médios gerais para as variáveis do estudo para 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Fontes de variação | Quadrado médio | | | | | | |
|--------------------|----------------|-----------|----------|--------|--------|---------|---------|
| | IMA | DB | EXT | LIG | EP | DV | FV |
| Locais (L) | 7385* | 0,046591* | 14,0549* | 68,44* | 4,410* | 2068,5* | 19,034* |
| Clones (C) | 1868* | 0,010734* | 2,6556* | 8,24* | 0,407* | 666,1* | 12,454* |
| C*L | 1751* | 0,001417* | 1,3864* | 4,69 | 0,217* | 195,1* | 4,483* |
| Resíduo | 143 | 0,000588 | 0,4442 | 4,33 | 0,091 | 95,1 | 1,276 |
| CV (%) | 14,66 | 5,23 | 16,71 | 6,57 | 6,86 | 7,73 | 10,97 |
| Média geral | 81,44 | 0,46 | 3,99 | 31,68 | 4,38 | 126,11 | 10,29 |
| Média NA | 87,52* | 0,45* | 3,72* | 31,09* | 4,23* | 122,89* | 9,99* |
| Média MTZ | 75,37 | 0,48 | 4,25* | 32,26 | 4,53 | 129,32 | 10,60 |

IMA: incremento médio anual ($\text{m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$); DB: densidade básica (g cm^{-3}); EXT: extrativos totais (%); LIG: lignina total (%), EP: espessura de parede das fibras (μm); DV: diâmetro de vasos (μm) e FV: frequência de vasos ($\text{n}^\circ \text{ de vasos mm}^{-2}$). * - significativo a 95% de probabilidade pelo teste F.

Tendo em vista a análise de variância, foi possível observar que os locais influenciaram tanto no crescimento quanto nas propriedades da madeira. A explicação do fato se dá pela diferença acentuada da precipitação. Os clones provenientes

Na média geral, as alterações ocorridas nos valores de cada variável para os dois locais de crescimento estudados, estão relacionados com as condições edafoclimáticas do sítio. Foi possível observar diferença significativa a 95% de probabilidade para todas as variáveis estudadas entre os dois locais de crescimento. Tal fato pode ser explicado pela maior amplitude térmica do sítio de Montezuma - MG, localizado a 938 m e com uma precipitação média de 570 mm. Para todas as variáveis estudadas, os clones provenientes de Nova Almeida -ES apresentaram, na média geral, valores mais apropriados de propriedades da madeira para a produção de polpa celulósica, uma vez que produziu madeiras com menor teor de extrativos e lignina, se comparado a Montezuma -MG.

Na região de Nova Almeida, onde as médias de precipitação pluviométrica são maiores, houve maior produtividade de madeira por hectare ao final do ciclo de sete anos ($87,52 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$). Tal fato é explicado, principalmente, pela maior disponibilidade de água para o crescimento da planta e formação da madeira. Montezuma, localizada em região de ocorrência de déficit hídrico, produziu menos madeira por hectare devido ao menor crescimento ($75,37 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$). Mesmo resultado final foi encontrado por Fernandes et al. (2011) em híbridos clonais de *Eucalyptus* aos sete anos de idade, uma maior produtividade de madeira na região com maior média de precipitação. Vale ressaltar que os altos valores de IMA para ambos locais são explicados por se tratar de um plantio experimental e pela forma de seleção dos clones para o estudo.

Tão importante quanto o crescimento em volume, a densidade básica pode limitar a escolha do material genético de acordo com a finalidade do uso (RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993). Em outras palavras, por ser considerada uma variável que apresenta correlações com as outras propriedades da madeira, a densidade é considerada uma propriedade que indica a qualidade da madeira para o fim desejado, sendo ainda uma propriedade física herdável e passível de melhoramento genético (LOPES; GARCIA, 2002).

Dessa maneira, os resultados de densidade básica tiveram influência do local de crescimento. Montezuma, apesar de ter produzido menor volume de madeira, produziu madeira com maior densidade básica ($0,48 \text{ g cm}^{-3}$) quando comparado a média da densidade básica da madeira que cresceu em Nova Almeida ($0,45 \text{ g cm}^{-3}$). Maiores densidades podem afetar a química e consequentemente o processo de produção de celulose. Em linhas gerais, madeiras com densidades menores tendem a ser mais favoráveis à produção de polpa celulósica, uma vez que a necessidade de álcali para cozimento será menor, podendo apresentar melhores valores para rendimento depurado. Queiroz et al. (2004) realizaram um estudo com dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com densidades diferentes, o clone A com $0,447 \text{ g/cm}^3$ e um clone B com uma densidade básica de $0,552 \text{ g.cm}^{-3}$. Os autores puderam concluir que o clone de menor densidade, apesar consumir menos reagentes para seu cozimento, apresentou um maior consumo específico de madeira, ao contrário do clone de maior densidade.

Em estudo realizado por Oliveira, et al. (2010) comparou a influência da precipitação pluviométrica sobre um clone de eucalipto, os autores estudaram a madeira proveniente de duas localidades do estado do Espírito Santo. O clone foi coletado no município de Aracruz onde precipitação média anual foi de 1336,61 mm e no município de Alto Rio Novo, com precipitação de 830,61 mm de média anual. Os autores verificaram densidade básica das madeiras foram diferentes, com médias de $0,480 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,51 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente. Tais valores corroboram com os encontrados no presente estudo e afirma-se a ideia de que clones que com presença de déficit hídrico formem madeiras mais densas.

Em relação aos resultados para análise química das madeiras estudadas, maiores médias de extrativos e lignina foram encontrados para as madeiras de clones provenientes de Montezuma - MG. Madeiras com maiores teores de lignina e extrativos geram efeito direto no consumo de álcali, no rendimento e taxa de deslignificação (ALENCAR, 2002; QUEIROZ et al., 2004; SANTOS, 2005; SILVA, 2011). Uma vez que se os níveis de álcali aumentar, acarretará na redução do rendimento em polpa e ainda afetará a resistência física da polpa celulósica.

Para a análise da anatomia da madeira, foi possível observar que o diâmetro e a frequência vascular foram maiores em Montezuma -MG, região de menor precipitação e presença de déficit hídrico. Resultado diferente foi encontrado por Ribeiro et al. (2014) ao estudarem a variabilidade dos elementos de vaso da madeira de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 6 anos de idade sob diferentes condições de deficiência hídrica. Os autores observaram que os elementos de vasos apresentaram menores diâmetros nas condições caracterizadas como “seca intermediária” e “seca severa” em relação as condições “normal” e “início de seca”. Esses autores concluíram que quanto maior o diâmetro dos vasos, maior a eficiência na condução de seiva, bem como a suscetibilidade de formação de bolhas de ar. Nesse sentido, a presença de vasos numerosos e estreitos contribui efetivamente para aumentar a segurança na condutividade hidráulica (ZANNE et al., 2006).

Os valores médios das análises conjunta e individual para o incremento médio anual (IMA) referentes aos 20 clones do estudo comparados por meio de Scott-Knott, a 5% de significância são apresentados na Tabela 2.

Pode-se observar um destaque para os clones 14 e 16 que, dentre os materiais genéticos estudados, pois apresentaram os maiores valores de IMA tanto na análise conjunta, variando de 101,82 a 108,83 m³ ha ano⁻¹, quanto nas análises individuais, variando de 100,89 a 112,40 m³ ha ano⁻¹. Tais valores indicam o potencial desses clones considerando a variável mais importante na escala de seleção de materiais genéticos, o crescimento. Outro ponto importante é o fato dos clones 14 e 16 terem sido provenientes da seleção dos 10 melhores clones na localidade de Montezuma – MG, ou seja, clones provenientes de uma região com menor produção de madeira na média geral, conforme apresentado na Tabela 1.

Outros clones que merecem destaque são os de número 1, 8, 13 e 18, pois apresentaram alta produtividade em madeira, uma vez que se encaixariam num segundo agrupamento.

É importante ressaltar ainda que por se tratar de medições provenientes de um teste clonal, é comum a presença de valores considerados altos para essa variável de produção de madeira, o incremento médio anual.

Tabela 2. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para incremento médio anual m³/ha/ano referente aos 20 clones *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Clone | Análise Conjunta | | Nova Almeida (ES) | | Montezuma (MG) | |
|-------|------------------|---|-------------------|---|----------------|---|
| 1 | 95,773 | b | 110,710 | a | 80,836 | b |
| 2 | 62,939 | d | 48,490 | d | 77,388 | b |
| 3 | 84,730 | b | 86,316 | c | 83,144 | b |
| 4 | 75,416 | c | 61,680 | d | 89,152 | a |
| 5 | 72,229 | c | 97,146 | b | 47,312 | d |
| 6 | 51,648 | e | 69,232 | c | 34,064 | e |
| 7 | 89,838 | b | 84,636 | c | 95,040 | a |
| 8 | 82,442 | b | 89,868 | b | 75,016 | b |
| 9 | 79,885 | c | 98,622 | b | 61,148 | c |
| 10 | 73,979 | c | 83,294 | c | 64,664 | c |
| 11 | 70,473 | c | 78,242 | c | 62,704 | c |
| 12 | 65,277 | d | 72,344 | c | 58,210 | c |
| 13 | 93,444 | b | 94,528 | b | 92,360 | a |
| 14 | 108,827 | a | 112,404 | a | 105,250 | a |
| 15 | 76,966 | c | 117,058 | a | 36,874 | e |
| 16 | 101,820 | a | 102,750 | b | 100,890 | a |
| 17 | 79,264 | c | 88,980 | b | 69,548 | c |
| 18 | 85,818 | b | 91,972 | b | 79,664 | b |
| 19 | 88,143 | b | 79,980 | c | 96,306 | a |
| 20 | 89,964 | b | 82,156 | c | 97,772 | a |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Quando se estuda materiais genéticos e sua seleção para uso madeireiro, não se deve tomar por base apenas o crescimento, mas também as variáveis referentes a qualidade da madeira. E dentre as variáveis de qualidade da madeira, a densidade é considerada a mais importante na estimativa e na indicação do uso da madeira, pois apresenta boa correlação com as outras características tecnológicas. Tão importante quanto o crescimento em volume, a densidade básica pode limitar a escolha de um material genético de acordo com a finalidade (RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993).

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios das análises conjunta e individual para densidade básica referente aos 20 clones do estudo, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância.

Tabela 3. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para densidade básica (g cm^{-3}) referente aos 20 clones *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Clone | Análise Conjunta | | Nova Almeida (ES) | | Montezuma (MG) | |
|-------|------------------|---|-------------------|---|----------------|---|
| 1 | 0,485 | b | 0,472 | b | 0,498 | a |
| 2 | 0,519 | a | 0,490 | a | 0,548 | a |
| 3 | 0,478 | b | 0,452 | b | 0,504 | a |
| 4 | 0,479 | b | 0,470 | b | 0,488 | a |
| 5 | 0,472 | b | 0,436 | c | 0,508 | a |
| 6 | 0,402 | d | 0,404 | d | 0,400 | c |
| 7 | 0,462 | b | 0,436 | c | 0,488 | a |
| 8 | 0,502 | a | 0,512 | a | 0,492 | a |
| 9 | 0,492 | a | 0,472 | b | 0,512 | a |
| 10 | 0,440 | c | 0,410 | d | 0,470 | b |
| 11 | 0,504 | a | 0,492 | a | 0,516 | a |
| 12 | 0,472 | b | 0,464 | b | 0,480 | a |
| 13 | 0,454 | c | 0,446 | c | 0,462 | b |
| 14 | 0,423 | d | 0,408 | d | 0,438 | b |
| 15 | 0,438 | c | 0,430 | c | 0,446 | b |
| 16 | 0,448 | c | 0,444 | c | 0,452 | b |
| 17 | 0,443 | c | 0,434 | c | 0,452 | b |
| 18 | 0,437 | c | 0,410 | d | 0,464 | b |
| 19 | 0,409 | d | 0,396 | d | 0,422 | c |
| 20 | 0,499 | a | 0,472 | b | 0,526 | a |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para essa variável, os clones 2, 8, 9, 11 e 20 se destacaram por apresentarem os maiores valores de densidade básica tanto na análise conjunta quanto nas individuais. Tais materiais genéticos tiveram seus valores de densidade básica variando de 0,49 a 0,50 g cm^{-3} na análise conjunta e de 0,47 a 0,55 g cm^{-3} dentro das análises individuais. Tais valores estão dentro do ideal

para clones de eucalipto para uso na indústria de celulose e papel (GOMIDE et al., 2005).

Os clones 3, 4 e 12 também se destacaram por possuírem densidades interessantes, sendo considerados como um segundo grupo do teste de agrupamento de médias. Vale ressaltar que se os valores de densidade básica, no geral, não estivessem atendendo ao objetivo do uso, poderiam aqui serem selecionados clones específicos para cada ambiente.

Poucos estudos investigam outras propriedades da madeira em pesquisas voltada para estudos de genótipos x ambientes. Entretanto, observa-se que as propriedades da madeira analisadas em conjunto fornecem uma resposta diferenciada e acertada quando se trata da seleção de materiais genéticos potenciais na indústria de celulose e papel.

Tanto os extrativos quanto a lignina são características fundamentais na indicação de materiais genéticos para polpação. Quanto maior o teor de extrativos e lignina na madeira, mais indesejáveis os materiais genéticos serão para a obtenção de polpa celulósica, uma vez que causam efeito direto no consumo de álcali, no rendimento e na taxa de deslignificação (ALENCAR, 2002; QUEIROZ, et al. 2004; SANTOS, 2005 e SILVA, 2011).

Os valores médios das análises conjunta e individuais para teor de extrativos totais (%) referente aos 20 clones do estudo, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância são apresentados na Tabela 4.

Para o percentual de extrativos totais, foi possível observar dois grupos para discussão, dos clones que apresentaram os maiores e menores valores para a variável em questão. Os clones 1, 2, 3, 12 e 15 apresentaram os maiores valores de extrativos totais tanto na análise conjunta quanto nas individuais. Tais materiais genéticos tiveram seus valores de extrativo total variando de 4,13 % a 4,92 % na análise conjunta e de 4,04 a 5,07 %, dentro das análises individuais.

Tabela 4. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para extrativo total (%) referente aos 20 clones *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Clone | Análise Conjunta | | Nova Almeida (ES) | | Montezuma (MG) | |
|-------|------------------|---|-------------------|---|----------------|---|
| 1 | 4,434 | a | 4,200 | a | 4,668 | a |
| 2 | 4,133 | a | 4,042 | a | 4,224 | a |
| 3 | 4,334 | a | 4,288 | a | 4,380 | a |
| 4 | 3,467 | b | 3,218 | c | 3,716 | b |
| 5 | 4,080 | a | 3,748 | b | 4,412 | a |
| 6 | 4,168 | a | 3,678 | b | 4,658 | a |
| 7 | 3,384 | b | 3,140 | c | 3,628 | b |
| 8 | 3,602 | b | 3,784 | b | 3,420 | b |
| 9 | 4,199 | a | 3,312 | b | 5,086 | a |
| 10 | 4,416 | a | 3,754 | b | 5,078 | a |
| 11 | 4,628 | a | 3,824 | b | 5,432 | a |
| 12 | 4,927 | a | 5,068 | a | 4,786 | a |
| 13 | 4,054 | a | 3,472 | b | 4,636 | a |
| 14 | 4,041 | a | 3,616 | b | 4,466 | a |
| 15 | 4,631 | a | 4,680 | a | 4,582 | a |
| 16 | 3,349 | b | 3,482 | b | 3,216 | b |
| 17 | 3,825 | b | 3,522 | b | 4,128 | a |
| 18 | 2,980 | b | 2,696 | c | 3,264 | b |
| 19 | 3,844 | b | 4,410 | a | 3,278 | b |
| 20 | 3,303 | b | 2,564 | c | 4,042 | b |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

O grupo de clones com as menores médias conjuntas e individuais foi formado pelos números 4, 7, 8, 16, 17, 18, 19, 20. Os valores de extrativo para esses clones variaram de 2,98 % a 3,84 % na análise conjunta e de 2,70 a 4,13 %, dentro das análises individuais. Gomide et al. (2005) avaliaram a química da madeira de dez clones de *Eucalyptus* das principais empresas de celulose do Brasil e reportaram médias de extrativos totais entre 1,76% (densidade de 0,465 g.cm⁻³) e 4,13% (densidade de 0,510 g.cm⁻³).

É interessante notar que, apesar de na média geral os clones provenientes de Montezuma apresentaram os maiores valores de extrativos, podemos elencar quatro clones provenientes dessa localidade que apresentaram os menores valores na análise conjunta e individual. Estes clones foram selecionados a partir do seu histórico de crescimento em Montezuma.

Condições ambientais adversas causam alterações não apenas nos teores de extrativos, mas também no percentual de lignina das plantas. Nesse caso tal efeito é causado pelas alterações na biossíntese, podendo aumentar a complexidade da natureza da lignina dependendo do estresse durante o crescimento da planta (MOURA et al., 2010). Tais alterações na lignina podem afetar o processo de polpação, acarretando em menores rendimentos de celulose, o que é indesejável no processo de polpação (RODRIGUES, 2013).

Os valores médios das análises conjunta e individuais para lignina total (%) referente aos 20 clones do estudo, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância são apresentados na Tabela 5.

Para os teores de lignina total foi possível observar que os clones provenientes de Montezuma não tiveram diferença significativa entre as médias, o que orienta a uma leitura voltada para a análise conjunta e individual da localidade de Nova Almeida.

O grupo de clones com as menores médias conjuntas e individual foi formado pelos números 3, 4, 5, 6, 9, 10, 15 e 18. Os valores de lignina total para esses clones variaram de 29,6 % a 31,14 % na análise conjunta e de 28,57 a 30,69 %, para a localidade de Nova Almeida (na análise individual). É importante destacar que mesmo sendo estes valores os menores encontrados no estudo, eles ainda são médias altas para seleção de clones direcionados a produção de pasta celulósica. Gomide et al. (2005) avaliaram a química da madeira de dez clones de *Eucalyptus* das principais empresas de celulose do Brasil e reportaram médias de lignina total entre 27,5 e 31,7%. E em estudo realizado por Gomide et al. (2010) com clones de *Eucalyptus*, foi possível demonstrar que a carga de álcali ativo para polpação, o teor de lignina e o teor de extrativos apresentaram efeitos significativos no rendimento da polpação Kraft, uma vez que mostraram boas correlações com o processo.

Tabela 5. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para lignina total (%) referente aos 20 clones *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Clone | Análise Conjunta | | Nova Almeida (ES) | | Montezuma (MG) | |
|-------|------------------|---|-------------------|---|----------------|---|
| 1 | 32,3770 | a | 31,602 | a | 33,1520 | a |
| 2 | 31,6400 | a | 30,066 | b | 33,2140 | a |
| 3 | 30,7576 | b | 29,240 | b | 32,2752 | a |
| 4 | 30,8330 | b | 30,282 | b | 31,3840 | a |
| 5 | 31,0940 | b | 30,686 | b | 31,5020 | a |
| 6 | 29,5990 | b | 29,526 | b | 29,6720 | a |
| 7 | 32,7850 | a | 32,716 | a | 32,8540 | a |
| 8 | 32,2696 | a | 31,726 | a | 32,8132 | a |
| 9 | 31,4050 | b | 30,406 | b | 32,4040 | a |
| 10 | 30,4816 | b | 28,574 | b | 32,3892 | a |
| 11 | 31,9780 | a | 31,100 | b | 32,8560 | a |
| 12 | 32,3360 | a | 31,916 | a | 32,7560 | a |
| 13 | 31,7890 | a | 30,940 | b | 32,6380 | a |
| 14 | 32,0940 | a | 32,560 | a | 31,6280 | a |
| 15 | 31,1450 | b | 30,030 | b | 32,2600 | a |
| 16 | 32,2285 | a | 32,226 | a | 32,2310 | a |
| 17 | 32,1100 | a | 31,156 | b | 33,0640 | a |
| 18 | 30,7340 | b | 30,410 | b | 31,0580 | a |
| 19 | 33,3570 | a | 33,258 | a | 33,4560 | a |
| 20 | 32,5000 | a | 33,394 | a | 31,6060 | a |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Além das características relacionadas ao crescimento, densidade básica e propriedades químicas, as variáveis anatômicas são importantes parâmetros para o entendimento e adequação da qualidade da madeira utilizada na produção de polpa celulósica e papel. A morfologia das células xilemáticas é dependente do ritmo e dos efeitos decorrentes do crescimento da árvore e também é influenciada pela idade do tecido cambial e, dessa forma, zonas distintas de madeira podem ser distinguidas na árvore (SILVA, 2002).

Os valores médios das análises conjunta e individuais para espessura de parede referente aos 20 clones do estudo, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para espessura de parede (μm) referente aos 20 clones *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Clone | Análise Conjunta | | Nova Almeida (ES) | | Montezuma (MG) | |
|-------|------------------|---|-------------------|---|----------------|---|
| 1 | 4,25 | c | 4,30 | a | 4,20 | b |
| 2 | 4,32 | c | 4,34 | a | 4,30 | b |
| 3 | 4,28 | c | 4,20 | b | 4,36 | b |
| 4 | 4,77 | a | 4,40 | a | 5,14 | a |
| 5 | 4,34 | c | 4,08 | b | 4,60 | b |
| 6 | 4,24 | c | 4,24 | b | 4,24 | b |
| 7 | 4,21 | c | 3,82 | b | 4,60 | b |
| 8 | 4,67 | b | 4,56 | a | 4,78 | a |
| 9 | 4,26 | c | 4,04 | b | 4,48 | b |
| 10 | 4,41 | c | 4,18 | b | 4,64 | b |
| 11 | 4,95 | a | 4,84 | a | 5,06 | a |
| 12 | 4,42 | c | 4,42 | a | 4,42 | b |
| 13 | 4,43 | c | 4,46 | a | 4,40 | b |
| 14 | 4,16 | c | 3,80 | b | 4,52 | b |
| 15 | 4,29 | c | 4,16 | b | 4,42 | b |
| 16 | 4,39 | c | 4,44 | a | 4,34 | b |
| 17 | 4,40 | c | 4,26 | b | 4,54 | b |
| 18 | 4,20 | c | 4,04 | b | 4,36 | b |
| 19 | 4,41 | c | 4,20 | b | 4,62 | b |
| 20 | 4,55 | b | 4,20 | b | 4,90 | a |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para a espessura de parede, os maiores valores dessa variável corresponderam aos clones 4 e 11 que apresentaram tanto na análise conjunta quanto nas análises individuais, os maiores valores. As médias foram de 4,77

μm e $4,95 \mu\text{m}$ para a análise conjunta e de $4,40$ a $5,14 \mu\text{m}$ nas análises individuais. Segundo Nisgoskki (2005), a espessura de parede das células xilemáticas pode indicar o quão flexível a fibra pode ser e ainda direcionar melhores usos. Madeiras com maiores espessuras de parede são indicadas para fabricação de papéis absorventes (*tissue*) ao passo que madeiras com menores índices de fração parede são mais utilizadas na produção de papéis de imprimir e escrever, uma vez que a fibra tende a ser mais flexível, fornecendo uma ideia da capacidade das fibras se unirem formando papéis com melhores propriedades de resistência ao arrebentamento e tração.

Os valores médios das análises conjunta e individuais para diâmetro médio de vasos referente aos 20 clones do estudo, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância são apresentados na Tabela 7.

Apesar da presença de vasos numerosos e estreitos contribuir efetivamente para aumentar a segurança na condutividade hidráulica (ZANNE et al., 2006). É importante ressaltar que os elementos de vasos são muito importantes no processo de polpação, pois eles ajudam no processo de impregnação dos cavacos pelo licor, sendo muito importante que estes não estejam obstruídos por tilas, gomas, resinas ou ainda óleo- resinas (BURGER e RICHTER, 1991).

Em relação ao diâmetro dos vasos, pode-se observar que os clones 1, 16, 19 e 20 obtiveram as maiores médias tanto para a análise conjunta quanto para as individuais. Os valores médios para a análise conjunta para esse grupo de clones variaram de $134,85 \mu\text{m}$ a $141,17 \mu\text{m}$ e para as análises individuais ficaram entre $133,0 \mu\text{m}$ e $149,36 \mu\text{m}$. É interessante ressaltar que o clone 14 obteve os menores valores para a característica diâmetro de vasos, com média de $107,63 \mu\text{m}$ na análise conjunta e de $93,74 \mu\text{m}$ para Nova Almeida e $121,52 \mu\text{m}$ para Montezuma.

Tabela 7. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para diâmetro de vasos (μm) referente aos 20 clones *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Clone | Análise Conjunta | | Nova Almeida (ES) | | Montezuma (MG) | |
|-------|------------------|---|-------------------|---|----------------|---|
| 1 | 137,32 | a | 133,86 | a | 140,78 | a |
| 2 | 119,83 | c | 113,04 | b | 126,62 | b |
| 3 | 117,25 | c | 115,54 | b | 118,96 | b |
| 4 | 119,42 | c | 110,82 | b | 128,02 | b |
| 5 | 121,83 | c | 127,96 | a | 115,70 | b |
| 6 | 130,93 | b | 126,32 | a | 135,54 | a |
| 7 | 128,45 | b | 125,64 | a | 131,26 | a |
| 8 | 119,97 | c | 115,20 | b | 124,74 | b |
| 9 | 126,00 | b | 129,30 | a | 122,70 | b |
| 10 | 125,19 | b | 126,62 | a | 123,76 | b |
| 11 | 126,84 | b | 121,04 | a | 132,64 | a |
| 12 | 121,94 | c | 117,60 | b | 126,28 | b |
| 13 | 132,32 | b | 128,76 | a | 135,88 | a |
| 14 | 107,63 | d | 93,74 | c | 121,52 | b |
| 15 | 117,41 | c | 116,08 | b | 118,74 | b |
| 16 | 136,07 | a | 133,00 | a | 139,14 | a |
| 17 | 128,93 | b | 128,06 | a | 129,80 | b |
| 18 | 128,87 | b | 129,20 | a | 128,54 | b |
| 19 | 141,17 | a | 132,98 | a | 149,36 | a |
| 20 | 134,85 | a | 133,14 | a | 136,56 | a |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Tanto o diâmetro dos vasos quanto a frequência são variáveis importantes a serem consideradas na seleção, uma vez que quanto menor a área ocupada por tais elementos, menos porosa será a madeira. Entretanto, no caso do eucalipto, por apresentar um percentual de tecido parenquimático baixo, quanto menor for a área ocupada por poros, maior será a ocupação da madeira por fibras. Segundo Foelkel (2007), os vasos são muito importantes tanto para a fisiologia e crescimento das árvores, como para os processos de conversão da

madeira em celulose. Sua presença nas madeiras de folhosas favorece o processo de impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento. Como são elementos grandes e ôcos em sua maioria, eles facilitam a passagem do licor para o interior dos cavacos. Além disso, a comunicação dos vasos com as células adjacentes, através das pontoações, permite que o licor de cozimento migre para o interior dos cavacos (MAURI, 2010).

Os valores médios das análises conjunta e individuais para frequência de vasos referente aos 20 clones do estudo, comparados por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância são apresentados na Tabela 8.

De acordo com a Tabela 8, os clones 11 e 15 apresentam os maiores valores referentes a frequência vascular, variando de 12,42 a 12,93 número de vasos mm^{-2} para a análise conjunta e de 11,70 a 14,22 número de vasos mm^{-2} para as análises individuais dos dados. O clone obteve a menor média para a característica, com 8,27 número de vasos mm^{-2} para a análise conjunta e variou de 8,00 a 8,54 número de vasos mm^{-2} para as análises individuais.

Tabela 8. Valores médios e teste de comparação de médias da análise conjunta e individual para frequência de vasos (número de vasos mm⁻²) referente aos 20 clones *E. grandis* x *E. urophylla* aos sete anos de idade em dois locais de crescimento

| Clone | Análise Conjunta | | Nova Almeida (ES) | | Montezuma (MG) | |
|-------|------------------|---|-------------------|---|----------------|---|
| 1 | 9,70 | d | 8,66 | c | 10,74 | c |
| 2 | 10,65 | c | 11,24 | b | 10,06 | c |
| 3 | 11,28 | b | 11,00 | b | 11,56 | b |
| 4 | 9,25 | d | 8,90 | c | 9,60 | c |
| 5 | 10,74 | c | 8,88 | c | 12,60 | b |
| 6 | 9,93 | d | 10,78 | b | 9,08 | c |
| 7 | 9,79 | d | 9,50 | c | 10,08 | c |
| 8 | 11,66 | b | 11,46 | b | 11,86 | b |
| 9 | 10,26 | c | 9,50 | c | 11,02 | c |
| 10 | 9,74 | d | 9,00 | c | 10,48 | c |
| 11 | 12,42 | a | 13,14 | a | 11,70 | b |
| 12 | 10,36 | c | 10,36 | b | 10,36 | c |
| 13 | 9,77 | d | 9,00 | c | 10,54 | c |
| 14 | 10,66 | c | 11,10 | b | 10,22 | c |
| 15 | 12,93 | a | 11,64 | b | 14,22 | a |
| 16 | 9,60 | d | 9,34 | c | 9,86 | c |
| 17 | 9,27 | d | 8,88 | c | 9,66 | c |
| 18 | 9,37 | d | 9,06 | c | 9,68 | c |
| 19 | 10,30 | c | 10,34 | b | 10,26 | c |
| 20 | 8,27 | e | 8,00 | c | 8,54 | c |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de agrupamento de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4.2 Análises genéticas

Os valores referentes as estimativas de alguns parâmetros genéticos são apresentados na Tabela 9.

No geral, a correlação genotípica entre os ambientes (rgloc), foi de baixa a alta para quase todos os caracteres avaliados (RESENDE e DUARTE, 2007), variando de 0,040 a 0,842. A ocorrência de valores baixos de correlação entre os ambientes, mostram que a interação do estudo é classificada como interação genótipos x ambientes do tipo complexa, o que orienta a estratégia de seleção de clones classificados como específicos para os diferentes ambientes, visando a maximização dos ganhos genéticos esperados (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Tabela 9. Estimativa de alguns parâmetros genéticos para as variáveis do estudo referente aos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade, avaliados na análise conjunta entre os dois ambientes

| | IMA | DB | EXT | LIG | EP | DV | FV |
|-------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| rgloc | 0,040 | 0,842 | 0,706 | 0,558 | 0,403 | 0,402 | 0,823 |
| CVgi (%) | 4,513 | 6,59 | 5,443 | 8,718 | 3,071 | 8,931 | 1,860 |
| CVe (%) | 14,712 | 5,033 | 7,799 | 10,906 | 6,851 | 16,722 | 6,624 |
| Média geral | 81.44 | 0.46 | 126.11 | 10.29 | 4.38 | 3.99 | 31.68 |

IMA: incremento médio anual (m³/ha/ano); DB: densidade básica (g/cm³); EXT: extrativos totais (%); LIG: lignina total (%), EP: espessura de parede das fibras (μm); DV: diâmetro de vasos (μm); FV: frequência de vasos (nº de vasos/μm²); rgloc: Correlação genotípica entre os ambientes; Média geral: Média geral dos caracteres entre os diferentes ambientes; CVgi (%): Coeficiente de variação genotípica e CVe (%): Coeficiente de variação experimental.

A densidade básica, em especial, foi a característica que apresentou o maior valor para a correlação genotípica (0,842). Neste caso, de acordo com Resende (2007), por não existir de uma interação G x A do tipo complexa, a densidade básica da madeira possui uma tendência de ser mais estável entre os ambientes sugerindo que as análises de estabilidade e adaptabilidade podem focar outros caracteres do estudo. Santos (2012) estudando interações genótipos x ambientes de eucaliptos no sul do país também encontrou valor de correlação genotípica alto (0,926) para densidade básica. Assim como Santos (2012), Nunes (2015) estudando qualidade da madeira, critérios de seleção e

interação genótipos x ambientes de clones de *Eucalyptus* no Rio Grande do Sul, também avaliou a densidade básica e encontrou valores altos para a correlação genotípica entre os ambientes ($rg_{loc} = 0,93$) foi Nunes (2015).

Com relação ao coeficiente de correlação genotípica (CV_{gi}), para as variáveis estudadas, variou de 1,86 % para a frequência de vasos a 8,93 % para diâmetro de vasos (μm).

O ordenamento das análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) referentes ao incremento médio anual (IMA) para dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, provenientes de dois locais de crescimento, aos sete anos de idade é apresentado na Tabela 10. Verifica-se que os dois melhores clones (14 e 16) com base nos critérios PRVG, MHVG e MHPRVG, coincidem com os dois melhores clones pelo ordenamento de valores na análise conjunta entre os ambientes (Tabela 2).

Para o IMA, os cinco clones mais estáveis (menos contribuem para a interação) foram responsáveis por 7,7005% de ganho na seleção.

Tabela 10. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para incremento médio anual ($\text{m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$) dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade

| Estabilidade (MHVG) | | Adaptabilidade (PRVG) | | | Estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) | | |
|---------------------|----------|-----------------------|--------|---------|--|--------|-----------|
| Genótipos | MHVG | Genótipos | PRVG | PRVG*MG | Genótipos | MHPRVG | MHPRVG*MG |
| 14 | 106.5992 | 14 | 1.3144 | 107.047 | 14 | 1.3123 | 106.8818 |
| 16 | 100.2437 | 16 | 1.2367 | 100.722 | 16 | 1.2321 | 100.3448 |
| 1 | 92.5455 | 1 | 1.1559 | 94.1414 | 1 | 1.1492 | 93.5934 |
| 3 | 92.5023 | 3 | 1.1411 | 92.9322 | 3 | 1.1372 | 92.614 |
| 7 | 88.9915 | 7 | 1.1089 | 90.3125 | 7 | 1.0888 | 88.6746 |
| 20 | 88.8153 | 20 | 1.1053 | 90.0161 | 20 | 1.0845 | 88.3236 |
| 19 | 87.0732 | 19 | 1.0884 | 88.6458 | 19 | 1.0628 | 86.5581 |
| 18 | 85.0414 | 18 | 1.0498 | 85.5008 | 18 | 1.0498 | 85.5002 |
| 3 | 84.4334 | 3 | 1.0413 | 84.8049 | 3 | 1.0385 | 84.5796 |
| 8 | 81.716 | 8 | 1.0102 | 82.2779 | 8 | 1.01 | 82.2611 |
| 17 | 78.3144 | 17 | 0.9721 | 79.1688 | 17 | 0.9702 | 79.0133 |
| 9 | 76.091 | 9 | 0.9715 | 79.1245 | 9 | 0.95 | 77.3676 |
| 4 | 73.9461 | 4 | 0.948 | 77.2098 | 4 | 0.9101 | 74.1228 |
| 10 | 73.4516 | 10 | 0.9202 | 74.9433 | 10 | 0.8973 | 73.0764 |
| 11 | 70.4955 | 11 | 0.9121 | 74.2882 | 11 | 0.8725 | 71.0628 |
| 12 | 65.7795 | 12 | 0.879 | 71.5888 | 12 | 0.8233 | 67.0512 |
| 5 | 65.4485 | 5 | 0.8735 | 71.1386 | 5 | 0.814 | 66.299 |
| 2 | 61.8247 | 2 | 0.8148 | 66.3614 | 2 | 0.7556 | 61.5365 |
| 15 | 59.3219 | 15 | 0.8063 | 65.6714 | 15 | 0.748 | 60.9235 |
| 6 | 48.7941 | 6 | 0.6505 | 52.9799 | 6 | 0.6132 | 49.9437 |

Média geral: 81,44375 $\text{m}^3 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$ e Ganho com relação à média geral, considerando os 5 primeiros clones: 7,7005%

O ordenamento das análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) referentes a característica de a densidade básica dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, provenientes de dois locais de crescimento, aos sete anos de idade é apresentado na Tabela 11.

Foi possível verificar que os cinco clones com maiores valores (2, 8, 9, 11 e 20) com base nos critérios PRVG, MHVG e MHPRVG, coincidem com os cinco melhores clones pelo ordenamento de valores na análise conjunta entre os ambientes, como pode ser verificado na Tabela 3.

Para a densidade básica, os cinco clones mais estáveis contribuíram com apenas 0,2027% do ganho na seleção. Esse baixo valor pode ser explicado porque a densidade básica é uma variável bastante herdável. Logo, a importância da estimação da densidade básica de eucalipto em um programa de melhoramento, considerando tal característica como a mais importante e representativa da qualidade da madeira e da polpa celulósica deve ser levada em consideração (WEI; BORRALHO, 1997).

Tabela 11. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para densidade básica (g cm^{-3}) dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade

| Estabilidade (MHVG) | | Adaptabilidade (PRVG) | | | Estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) | | |
|---------------------|--------|-----------------------|--------|---------|--|--------|-----------|
| Genótipos | MHVG | Genótipos | PRVG | PRVG*MG | Genótipos | MHPRVG | MHPRVG*MG |
| 2 | 0.5151 | 2 | 1.1146 | 0.5159 | 2 | 1.1144 | 0.5159 |
| 11 | 0.5016 | 11 | 1.0845 | 0.502 | 11 | 1.0845 | 0.502 |
| 8 | 0.5 | 8 | 1.0814 | 0.5006 | 8 | 1.0802 | 0.5 |
| 20 | 0.4962 | 20 | 1.0736 | 0.497 | 20 | 1.0734 | 0.4969 |
| 9 | 0.4898 | 9 | 1.0595 | 0.4905 | 9 | 1.0595 | 0.4905 |
| 1 | 0.4835 | 1 | 1.0455 | 0.484 | 1 | 1.0455 | 0.4839 |
| 4 | 0.4779 | 4 | 1.0333 | 0.4783 | 4 | 1.0333 | 0.4783 |
| 3 | 0.4762 | 3 | 1.0305 | 0.477 | 3 | 1.0304 | 0.477 |
| 14 | 0.4713 | 14 | 1.019 | 0.4717 | 14 | 1.0189 | 0.4717 |
| 5 | 0.4699 | 5 | 1.0178 | 0.4711 | 5 | 1.0171 | 0.4708 |
| 7 | 0.461 | 7 | 0.9977 | 0.4618 | 7 | 0.9975 | 0.4617 |
| 13 | 0.4542 | 13 | 0.9821 | 0.4546 | 13 | 0.982 | 0.4546 |
| 16 | 0.4486 | 16 | 0.9699 | 0.449 | 16 | 0.9697 | 0.4489 |
| 17 | 0.4437 | 17 | 0.9594 | 0.4441 | 17 | 0.9594 | 0.4441 |
| 10 | 0.4398 | 10 | 0.9523 | 0.4408 | 10 | 0.9519 | 0.4406 |
| 15 | 0.439 | 15 | 0.9492 | 0.4394 | 15 | 0.9491 | 0.4394 |
| 18 | 0.4372 | 18 | 0.9463 | 0.438 | 18 | 0.946 | 0.4379 |
| 14 | 0.4245 | 14 | 0.9181 | 0.425 | 14 | 0.9181 | 0.425 |
| 19 | 0.4113 | 19 | 0.8894 | 0.4117 | 19 | 0.8894 | 0.4117 |
| 6 | 0.405 | 6 | 0.8757 | 0.4054 | 6 | 0.8753 | 0.4052 |

Média geral: $0,4629 \text{ g cm}^{-3}$ e Ganho com relação à média geral, considerando os 5 primeiros clones: 0,2027%.

O ordenamento das análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) referentes a característica de extrativos totais dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, provenientes de dois locais de crescimento, aos sete anos de idade é apresentado na Tabela 12.

Foi possível verificar que dos que dentre os cinco melhores clones, com base nos critérios PRVG, MHVG e MHPRVG não coincidem totalmente com o ordenamento de valores genotípicos preditos pela análise conjunta entre os ambientes. Dentre os cinco melhores, houve coincidência para os clones 1, 12 e 15. Para a característica de extrativos totais, os cinco clones mais estáveis contribuíram com apenas 1.7906% do ganho na seleção

Tabela 12. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para extrativos totais (%) dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade

| Estabilidade (MHVG) | | Adaptabilidade (PRVG) | | | Estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) | | |
|---------------------|--------|-----------------------|--------|---------|--|--------|-----------|
| Genótipos | MHVG | Genótipos | PRVG | PRVG*MG | Genótipos | MHPRVG | MHPRVG*MG |
| 12 | 4.7695 | 12 | 1.2009 | 4.7913 | 12 | 1.1953 | 4.7689 |
| 15 | 4.5230 | 15 | 1.1379 | 4.5402 | 15 | 1.1345 | 4.5264 |
| 11 | 4.4318 | 11 | 1.1273 | 4.4977 | 11 | 1.1212 | 4.4733 |
| 1 | 4.345 | 1 | 1.0932 | 4.3617 | 1 | 1.0931 | 4.3613 |
| 10 | 4.2795 | 10 | 1.085 | 4.329 | 10 | 1.0815 | 4.3148 |
| 3 | 4.2744 | 3 | 1.0749 | 4.2888 | 3 | 1.0733 | 4.2821 |
| 2 | 4.1025 | 2 | 1.0368 | 4.1365 | 2 | 1.0338 | 4.1245 |
| 6 | 4.0968 | 6 | 1.035 | 4.1294 | 6 | 1.0307 | 4.1123 |
| 9 | 4.0505 | 9 | 1.0317 | 4.1162 | 9 | 1.0265 | 4.0954 |
| 5 | 4.0407 | 5 | 1.018 | 4.0617 | 5 | 1.0179 | 4.0613 |
| 14 | 3.9971 | 14 | 1.0098 | 4.0287 | 14 | 1.008 | 4.0218 |
| 13 | 3.9859 | 13 | 1.0087 | 4.0246 | 13 | 1.007 | 4.0175 |
| 19 | 3.8448 | 19 | 0.9788 | 3.9052 | 19 | 0.9653 | 3.8513 |
| 17 | 3.832 | 17 | 0.9654 | 3.8516 | 17 | 0.9587 | 3.8252 |
| 8 | 3.6677 | 8 | 0.9241 | 3.687 | 8 | 0.9186 | 3.6651 |
| 4 | 3.5359 | 4 | 0.8905 | 3.5529 | 4 | 0.8905 | 3.5528 |
| 7 | 3.4679 | 7 | 0.8734 | 3.4846 | 7 | 0.8734 | 3.4845 |
| 16 | 3.4551 | 16 | 0.8699 | 3.4708 | 16 | 0.8659 | 3.4548 |
| 20 | 3.3165 | 20 | 0.8505 | 3.3933 | 20 | 0.8408 | 3.3548 |
| 18 | 3.1249 | 18 | 0.7882 | 3.1448 | 18 | 0.7878 | 3.1433 |

Média geral: 3,9898 e Ganho com relação à média geral, considerando os 5 primeiros clones: 1,7906

O ordenamento das análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) referentes a característica de lignina total dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, provenientes de dois locais de crescimento, aos sete anos de idade é apresentado na Tabela 13.

Foi possível verificar que dos que dentre os cinco melhores clones, com base nos critérios PRVG, MHVG e MHPRVG coincidem totalmente com o ordenamento de valores genotípicos preditos pela análise conjunta entre os ambientes (Tabela 5). Os clones considerados de maiores valores para lignina total (1, 7, 12, 19 e 20) devem ser retirados da seleção, uma vez que essa característica é desejável em menores valores. De qualquer maneira, tais clones contribuíram com apenas 1.7906% do ganho na seleção

Tabela 13. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para lignina total dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade

| Estabilidade (MHVG) | | Adaptabilidade (PRVG) | | | Estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) | | |
|---------------------|---------|-----------------------|--------|---------|--|--------|-----------|
| Genótipos | MHVG | Genótipos | PRVG | PRVG*MG | genótipos | MHPRVG | MHPRVG*MG |
| 19 | 32.4504 | 19 | 1.0248 | 32.4606 | 19 | 1.0248 | 32.4605 |
| 7 | 32.1838 | 7 | 1.0164 | 32.194 | 7 | 1.0164 | 32.1939 |
| 20 | 32.0533 | 20 | 1.0122 | 32.0624 | 20 | 1.0122 | 32.0619 |
| 1 | 31.9917 | 1 | 1.0103 | 32.0027 | 1 | 1.0103 | 32.0027 |
| 12 | 31.9733 | 12 | 1.0097 | 31.9839 | 12 | 1.0097 | 31.9839 |
| 8 | 31.9418 | 8 | 1.0087 | 31.9526 | 8 | 1.0087 | 31.9526 |
| 16 | 31.9246 | 16 | 1.0082 | 31.9346 | 16 | 1.0082 | 31.9346 |
| 17 | 31.8662 | 17 | 1.0064 | 31.8776 | 17 | 1.0064 | 31.8776 |
| 14 | 31.8621 | 14 | 1.0062 | 31.8716 | 14 | 1.0062 | 31.8714 |
| 11 | 31.8052 | 11 | 1.0044 | 31.8164 | 11 | 1.0044 | 31.8164 |
| 13 | 31.7169 | 13 | 1.0017 | 31.7281 | 13 | 1.0017 | 31.7281 |
| 2 | 31.6456 | 2 | 0.9994 | 31.658 | 2 | 0.9994 | 31.6578 |
| 9 | 31.5378 | 9 | 0.996 | 31.5492 | 9 | 0.996 | 31.5492 |
| 15 | 31.4154 | 15 | 0.9921 | 31.427 | 15 | 0.9921 | 31.4269 |
| 5 | 31.3951 | 5 | 0.9915 | 31.4057 | 5 | 0.9915 | 31.4057 |
| 4 | 31.2716 | 4 | 0.9876 | 31.2824 | 4 | 0.9876 | 31.2824 |
| 3 | 31.2335 | 3 | 0.9864 | 31.2459 | 3 | 0.9864 | 31.2457 |
| 18 | 31.2259 | 18 | 0.9861 | 31.2363 | 18 | 0.9861 | 31.2363 |
| 10 | 31.1036 | 10 | 0.9824 | 31.1167 | 10 | 0.9823 | 31.1163 |
| 6 | 30.6976 | 6 | 0.9694 | 30.7077 | 6 | 0.9694 | 30.7077 |

Média geral: 31,6757 e Ganho com relação à média geral, considerando os 5 primeiros clones: 2,6768%

O ordenamento das análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) referentes a característica de parede dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, provenientes de dois locais de crescimento, aos sete anos de idade é apresentado na Tabela 14.

Para a variável espessura de parede, os cinco primeiros clones no ordenamento foram responsáveis por um ganho de seleção de 0,9152%, sugerindo que tais genótipos, por não contribuírem muito com a interação, são considerados de comportamento plástico.

Tabela 14. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para espessura de parede (μm) dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade

| Estabilidade | | Adaptabilidade | | | Estabilidade e adaptabilidade | | |
|--------------|--------|----------------|--------|---------|-------------------------------|--------|-----------|
| Genótipos | MHVG | Genótipos | PRVG | PRVG*MG | Genótipos | MHPRVG | MHPRVG*MG |
| 11 | 4.8243 | 11 | 1.1016 | 4.8287 | 11 | 1.1015 | 4.8283 |
| 4 | 4.6468 | 4 | 1.0629 | 4.6591 | 4 | 1.0622 | 4.6561 |
| 8 | 4.5917 | 8 | 1.0486 | 4.5962 | 8 | 1.0485 | 4.5960 |
| 20 | 4.4811 | 20 | 1.0251 | 4.4931 | 20 | 1.0244 | 4.4902 |
| 13 | 4.3978 | 13 | 1.0042 | 4.4019 | 13 | 1.0036 | 4.3991 |
| 12 | 4.3907 | 12 | 1.0026 | 4.3946 | 12 | 1.0025 | 4.3941 |
| 10 | 4.3874 | 10 | 1.0026 | 4.3945 | 10 | 1.0021 | 4.3926 |
| 19 | 4.3852 | 19 | 1.002 | 4.3923 | 19 | 1.0019 | 4.3918 |
| 17 | 4.3762 | 17 | 0.9994 | 4.3809 | 17 | 0.9994 | 4.3809 |
| 16 | 4.3746 | 16 | 0.999 | 4.3787 | 16 | 0.9983 | 4.3757 |
| 5 | 4.3306 | 5 | 0.99 | 4.3393 | 5 | 0.9897 | 4.3380 |
| 1 | 4.3192 | 1 | 0.9863 | 4.3232 | 1 | 0.9857 | 4.3205 |
| 15 | 4.3014 | 15 | 0.9824 | 4.306 | 15 | 0.9824 | 4.3059 |
| 1 | 4.2802 | 1 | 0.9774 | 4.2843 | 1 | 0.9767 | 4.2812 |
| 3 | 4.2763 | 3 | 0.9765 | 4.2803 | 3 | 0.9764 | 4.2800 |
| 6 | 4.2627 | 6 | 0.9733 | 4.2664 | 6 | 0.9729 | 4.2646 |
| 9 | 4.2569 | 9 | 0.9728 | 4.2641 | 9 | 0.9727 | 4.2635 |
| 18 | 4.2385 | 18 | 0.9682 | 4.2438 | 18 | 0.9682 | 4.2438 |
| 7 | 4.2236 | 7 | 0.967 | 4.2386 | 7 | 0.9658 | 4.2334 |
| 14 | 4.1853 | 14 | 0.9582 | 4.1999 | 14 | 0.957 | 4.1950 |

Média geral: 4,3832 e Ganho com relação à média geral, considerando os 5 primeiros clones: 0,9152%

O ordenamento das análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) referentes a característica de diâmetro de vasos dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, provenientes de dois locais de crescimento, aos sete anos de idade é apresentado na Tabela 15.

Os clones mais estáveis para o diâmetro de vasos estavam entre os clones que mais contribuíram para interação quando verificado pela variável frequência de vasos. Nesse caso, pode ser útil criar uma variável dependente dessas duas, como, por exemplo, percentual de vasos na madeira. Em outras palavras, por meio de duas variáveis unidas é possível tornar as análises mais acuradas e maximizar o ganho genético, uma vez que elas estão associadas. Em estudo realizado por Nunes et al. (2016) foi criado, por exemplo, um índice de peso da madeira associada a variável DAP. Com o uso dessa técnica, os autores conseguiram efetuar a seleção de genótipos superiores de modo eficiente.

Tabela 15. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para o diâmetro de vasos (μm) dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade

| Estabilidade | | Adaptabilidade | | | Estabilidade e adaptabilidade | | |
|--------------|-----------|----------------|--------|----------|-------------------------------|--------|-----------|
| Genótipos | MHVG | Genótipos | PRVG | PRVG*MG | Genótipos | MHPRVG | MHPRVG*MG |
| 19 | 138.7411 | 19 | 1.1016 | 138.9213 | 19 | 1.1013 | 138.8869 |
| 1 | 135.6162 | 1 | 1.0761 | 135.7013 | 1 | 1.0761 | 135.7012 |
| 16 | 134.5504 | 16 | 1.0676 | 134.6312 | 16 | 1.0676 | 134.6306 |
| 20 | 133.537 | 20 | 1.0594 | 133.6064 | 20 | 1.0594 | 133.5997 |
| 13 | 131.3271 | 13 | 1.0421 | 131.4135 | 13 | 1.0421 | 131.4135 |
| 6 | 130.1182 | 6 | 1.0326 | 130.2209 | 6 | 1.0326 | 130.2181 |
| 17 | 128.4876 | 17 | 1.0194 | 128.5515 | 17 | 1.0193 | 128.5395 |
| 18 | 128.4396 | 18 | 1.019 | 128.5026 | 18 | 1.0188 | 128.476 |
| 7 | 128.0415 | 7 | 1.0159 | 128.1188 | 7 | 1.0159 | 128.1183 |
| 11 | 126.5736 | 11 | 1.0047 | 126.7020 | 11 | 1.0046 | 126.6888 |
| 9 | 126.0115 | 9 | 0.9999 | 126.0952 | 9 | 0.9992 | 126.0098 |
| 10 | 125.3168 | 10 | 0.9942 | 125.3822 | 10 | 0.9939 | 125.3389 |
| 5 | 122.4357 | 5 | 0.9719 | 122.5715 | 5 | 0.9716 | 122.5223 |
| 12 | 122.4260f | 12 | 0.9716 | 122.5258 | 12 | 0.9706 | 122.3977 |
| 8 | 120.7305 | 8 | 0.9582 | 120.8392 | 8 | 0.9582 | 120.8323 |
| 2 | 120.526 | 2 | 0.957 | 120.6848 | 2 | 0.9567 | 120.6537 |
| 4 | 120.1075 | 4 | 0.9541 | 120.3264 | 4 | 0.9536 | 120.2584 |
| 15 | 118.6281 | 15 | 0.9412 | 118.6906 | 15 | 0.9411 | 118.6856 |
| 3 | 118.4815 | 3 | 0.9400 | 118.5468 | 3 | 0.9400 | 118.5441 |
| 14 | 109.6376 | 14 | 0.8735 | 110.1598 | 14 | 0.8711 | 109.8558 |

*Média geral: 126,1096 e ganho com relação à média geral, considerando os cinco primeiros clones: 43,6699%.

O ordenamento das análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade simultaneamente (MHPRVG) referentes a característica de frequência vascular dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, provenientes de dois locais de crescimento, aos sete anos de idade é apresentado na Tabela 16.

As análises de estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG) para a frequência de vasos são apresentadas na Tabela 3 e resultaram em um ordenamento diferente do que foi verificado para o diâmetro de vasos. Nesse caso, os cinco primeiros clones em relação a MHVG, PRVG e MHPRVG são responsáveis por um ganho de seleção de 6,6698%.

Tabela 16. Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para a frequência de vasos (nº de vasos mm⁻²) dos 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos sete anos de idade

| Estabilidade | | Adaptabilidade | | | Estabilidade e adaptabilidade | | |
|--------------|---------|----------------|--------|---------|-------------------------------|--------|-----------|
| Genótipos | MHVG | Genótipos | PRVG | PRVG*MG | Genótipos | MHPRVG | MHPRVG*MG |
| 15 | 12.5841 | 15 | 1.2288 | 12.6464 | 15 | 1.2256 | 12.6141 |
| 11 | 12.1888 | 11 | 1.188 | 12.2266 | 11 | 1.1831 | 12.1764 |
| 8 | 11.5157 | 8 | 1.1197 | 11.5237 | 8 | 1.1196 | 11.5228 |
| 3 | 11.1674 | 3 | 1.0859 | 11.1761 | 3 | 1.0859 | 11.176 |
| 14 | 10.6067 | 14 | 1.0371 | 10.6737 | 14 | 1.0299 | 10.5997 |
| 2 | 10.588 | 2 | 1.0327 | 10.6285 | 2 | 1.0278 | 10.5779 |
| 5 | 10.5191 | 5 | 1.0317 | 10.6184 | 5 | 1.0261 | 10.5605 |
| 12 | 10.3519 | 12 | 1.0065 | 10.3592 | 12 | 1.0061 | 10.3544 |
| 19 | 10.2904 | 19 | 1.0006 | 10.2981 | 19 | 1.0000 | 10.2921 |
| 9 | 10.2218 | 9 | 0.9959 | 10.2503 | 9 | 0.995 | 10.2403 |
| 6 | 9.9347 | 6 | 0.9703 | 9.9865 | 6 | 0.9638 | 9.9192 |
| 7 | 9.8363 | 7 | 0.9566 | 9.845 | 7 | 0.9566 | 9.845 |
| 13 | 9.7705 | 13 | 0.9522 | 9.8003 | 13 | 0.9511 | 9.789 |
| 10 | 9.7469 | 10 | 0.9497 | 9.7742 | 10 | 0.9488 | 9.7646 |
| 1 | 9.6836 | 1 | 0.9462 | 9.7387 | 1 | 0.9433 | 9.7082 |
| 16 | 9.6525 | 16 | 0.9386 | 9.6605 | 16 | 0.9386 | 9.6605 |
| 18 | 9.443 | 18 | 0.9184 | 9.4524 | 18 | 0.9184 | 9.4523 |
| 17 | 9.3576 | 17 | 0.9103 | 9.3692 | 17 | 0.9103 | 9.3684 |
| 4 | 9.3387 | 4 | 0.9084 | 9.3492 | 4 | 0.9083 | 9.3488 |
| 20 | 8.4555 | 20 | 0.8224 | 8.4638 | 20 | 0.8224 | 8.4637 |

Média geral: 10,2920 e Ganho com relação à média geral, considerando os 5 primeiros clones: 6,6698%

5 CONCLUSÕES

O efeito do local de crescimento das árvores foi significativo em todas as características avaliadas no estudo para os 20 clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* estudados, em outras palavras a interação genótipos x ambientes foi significativa para o crescimento e para as propriedades da madeira dos materiais genéticos nos dois ambientes estudados.

A madeira produzida em Nova Almeida – ES, local de maior precipitação e menor amplitude térmica apresentou a maior produção em madeira e propriedades anatômicas e químicas mais desejáveis para a produção de polpa celulósica.

A madeira produzida em Montezuma – MG, ambiente com maiores amplitude térmica anual e déficit hídrico, teve maiores valores para densidade básica, extrativos totais, lignina total, diâmetros de vasos, frequência de vasos e espessura de parede de fibras.

Os resultados aqui apresentados são importantes no sentido de compreender melhor as respostas dos clones as variações ambientais bruscas. Essa resposta norteará as empresas na seleção de materiais genéticos, priorizando aqueles com baixa sensibilidade às variações ambientais, pois fornecem projeções estáveis para o manejo, a produtividade e a qualidade da madeira.

A respeito das análises de estabilidade e adaptabilidade é possível selecionar alguns clones com adaptabilidade e estabilidade simultaneamente nos dois locais estudados, indicando que a possível seleção de clones estáveis.

O presente estudo permitiu um melhor entendimento a respeito da produção e propriedades da madeira em resposta a locais de crescimento contrastantes, auxiliando no direcionamento e na seleção de grupos de clones melhor adaptados e com maior plasticidade para diferentes condições ambientais.

6 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, G. S. B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada à precocidade na seleção de híbrido *E. grandis* x *E. urophylla***. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 145 f. 2002.
- AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* através de microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v.11/12, n.6, p.17-23, 1998.
- ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 137p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras – MG, 2009.
- ASSIS, T. F.; MURO-ABAD, J. I.; AGUIAR, A. M. **Melhoramento genético do eucalipto**. In: SHUMACHER, M. V. e VIEIRA, M. Silvicultura do eucalipto no Brasil. Ed. Editora UFSM, Santa Maria, RS, 2015.
- ASSIS, T.F.; MAFIA, R.G. **Hibridação e clonagem**. In: BORÉM, A. (Ed) Biotecnologia florestal. Viçosa, MG, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Dados do setor**: Dezembro – 2012. Conjuntura Bracelpa, Ed. 49. 2012. Disponível em: < <http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-049.pdf> >. Acesso em: 03 jan.2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Conjuntura BRACELPA**. Publicação mensal da Associação Brasileira de Celulose e Papel, março, 2014. Acesso em: 05 maio 2014. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-064.pdf>>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2012, Brasília, p.148, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: 2003. 6p.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Potencialidade de espécies tropicais de eucalipto para a produção de celulose sulfato branqueada. **IPEF**, Piracicaba, n.13, p.9-38, 1976. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr13/cap01.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2011.
- BERTI FILHO, E. **Manual de pragas em florestas**: cupins ou térmitas. Piracicaba, IPEF/SIF, 1993. v. 3. 56 p.
- BRAWNER, J. T.; LEE, D. J.; MEDER, R.; ALMEIDA, A. C.; DIETERS, M. J. Classifying genotype by environment interactions for targeted germplasm deployment with a focus on *Eucalyptus*. **Euphytica: Netherlands Journal of Plant Breeding**, v. 191, n. 3 p. 403.414, 2013.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 154p. 1991 .

CASTRO, C.A. de O.; RESENDE, R.T.; BHERING, L.L.; CRUZ, C.D. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, v.46, p.1585- 1593, 2016

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS– Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. **COPANT**, v.30, p. 1-19, 1974.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, Viçosa: Editora UFV, 2004, v. 1, p. 171-201.

DENNE, M.P.; DODD, R.S. The Environmental Control of Xylem Differentiation. In **Xylem Cell Development**. J.D. Barnett (ed.), Castle House Publications, Kent. p. 236-255 1981.

DVORAK, W.S.; HODGE, G.R.; PAYN, K.G. The conservation and breeding of *Eucalyptus urophylla*: a case study to better protect important populations and improve productivity. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v.70, p.77-85, 2008.

FERNANDES, D. E.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; FERREIRA, M. Z. Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 143-150, 2011.

FOELKEL, C. Elementos de vaso e celulosas de eucalipto. **Eucalyptus Online Book**. 56p., abr. 2007.

GOMIDE, J. L. ; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, v. 47, n. 8, p. 36-38. 1986.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; SILVA, C.M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137. 2005.

GOMIDE, J.L.; FANTUZZI NETO, H.; REGAZZI, A.J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.339-344, 2010.

HARDNER, C.; DIETERS, M.; DELACY, I.; NEAL, J.; FLETCHER, S.; DALE, G.; BASFORD, K. Identifying deployment zones for *Eucalyptus camaldulensis* x *E. globulus* and x *E. grandis* hybrids using factor analytic modelling of genotype by environment interaction. **Australian Forestry**, v. 74, n. 1, p. 30-35, 2011.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Ibá 2016**: ano base 2015. São Paulo: Ibá, 2016. 100 p.

KOZLOWSKI, T.T., PALLARDY S.G. **Physiology of woody plants**. 2nd Edn. Academic Press, San Diego. 1997.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, São Paulo. Editora Rima, 531p. 2000.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associada aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p.13-23, 2002.

LOPES, T. S. **Crescimento inicial e ecofisiologia de clones de eucalipto sob diferentes condições climáticas**. 2009. 117 f. Dissertação. (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2009.

MAURI, R. **Anatomia e densidade do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, com variação de altitude e de topografia, no estado de Minas Gerais**. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2010.

MELESSE, S.F.; ZEWOTIR, T. The effect of correlated climatic factors on the radial growth of eucalypt trees grown in coastal Zululand of South Africa. **African Journal of Agricultural Research** v. 8, p. 1233-1244, 2013.

MITCHELL, H. L.: Wood quality evaluation from increment cores. **Tappi**: 41:150-156, 1958.

MOURA, J. C. M. S. et al. Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, China, v. 52, p. 360–376, 2010.

NIETO, V.; GIRALDO-CHARRIA, D.; SARMIENTO, M.; BORRALHO, N. Effects of provenance and genetic variation on the growth and stem formation of *Eucalyptus pellita* in Colombia. **Journal of Tropical Forest Science**, Malaysia, v. 28, n. 3, p. 277-234, 2016.

NUNES, A. C. P. **Qualidade da madeira, critérios de seleção e interação genótipos x ambientes de clones de *Eucalyptus* no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 121f. 2015

NUNES, A. C. P.; SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V. de; SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; ASSIS, T. F. Estabelecimento de zonas de melhoramento para clones de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Scientia. Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 563-574, 2016.

NUNES, G. H. S. et al. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v. 8, n.1, p. 49-58, 2002.

NUNES, G.H.S.; RESENDE, G.D.S.P.; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B. Implicações da interação genótipo x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Revista Cerne**, ano/vol. 8, número 001. Universidade Federal de Lavras. pp. 49-58. 2002.

ODA, S.; MELLO, E. J.; SOUZA, I. C. G. **Melhoramento Florestal**. In: BORÉM, A. (Ed) Biotecnologia florestal. Viçosa, MG, 2007.

OLIVEIRA, J. T. da S. et al. Influência da precipitação na densidade básica da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis*. In: **Anais**. XII Encontro Brasileiro de Madeira e Estruturas de Madeira (EBRAMEM). Lavras –MG, 2010.

OLIVEIRA, J. T. da S.; OLIVEIRA, J. G. L.; MURO-ABAD, J. I.; BRAZ, R. L.; RODRIGUES, B. P.; FANTUZZI NETO, H. Influência de três locais de crescimento na espessura de cerne e alburno da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Anais**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. 12., 2010, Lavras. Anais do XII EBRAMEM, 2010.

OLIVEIRA, T. W. G.; PAULA, R. C.; MORAES, M. L. T.; ALVARES, C. A.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M. Stability and adaptability for wood volume in the selection of *Eucalyptus saligna* in three environments. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 611–619, 2018.

PIERMATTEI, A.; CRIVELLARO, A.; CARRER, M.; URBINATI, C. The “blue ring”: anatomy and formation hypothesis of a new tree-ring anomaly in conifers. **Trees**. 2014.

PRITCHETT, W.L., R.F. FISHER. **Properties and Management of Forest Soils**. John Wiley and Sons, New York. 494 p. 1987.

PUPIN, S.; SANTOS, A.V. de A. dos; ZARUMA, D.U.G.; MIRANDA, A.C.; SILVA, P.H.M. da; MARINO, C.L.; SEBBENN, A.M.; MORAES, M.L.T. de. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Forestalis**, v.43, p.127-134, 2015.

QUEIROZ, S. C. S.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p.901-909, 2004.

R Core Team (2018). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa. MG: UFV, 1987. 4p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V. Novas abordagens estatísticas na análise de experimentos e campo. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2004. 60 p. (Embrapa Florestas Documentos 100).

REVISTA DA MADEIRA. **O potencial do eucalipto para a produção de madeira sólida**. n.75, ago. 2003.

RIBEIRO, A. O.; MOTA, G. S.; BATISTA, R. O.; MORI, F. A.; FURTINI NETO, A. E.; FERREIRA, C. A. Análise dos elementos de vaso em *Eucalyptus urograndis* em diferentes condições de déficit hídrico. **Anais**. XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Natal, RN, 2014.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. Revista **IPEF**, Piracicaba, n.46, p.76-85, 1993.

RIBEIRO, M. L. R. C.; BARROS, C. F. Variação intraspecífica do lenho de *Pseudopiptadenia contorta* (DC.) G.P. Lewis & M.P. Lima (Leguminosae - Mimosoideae) de populações ocorrentes em dois remanescentes de Floresta Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 20, n. 4, p.839-844, 2006.

ROCHA, R.; MURO-ABAD, J.I.; ARAUJO, E. F.; CRUZ, C.D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 255-266, 2005.

RODRIGUES, B. P. **Qualidade da madeira de um clone de eucalipto que cresceu sob estresse abiótico para produção de celulose**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, 2013.

SANTOS, G. A. et al. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.759-769, 2013.

SANTOS, G. A. **Interação genótipos x ambientes para produtividade de híbridos multi-espécies de eucalipto no Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 128f, 2012.

SANTOS, G. A.; NUNES, A. C. P.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T.F. Genetic control and genotype-by-environment interaction of wood weight in *Eucalyptus* clones in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 5, p. 867–876, 2016.

SANTOS, S.R. **Influência da qualidade da madeira de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação da polpa branqueada**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 148 p. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2002.

SILVA, M. G. **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de celulose branqueada**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 95 f. 2011.

SOUZA, S. M.; SILVA, H. D.; PINTO JUNIOR, J. E. Variabilidade genética e interação genótipo x ambiente em *Eucalyptus pilularis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.26/27, p.3-16,1993.

SOUZA, T. S.; RAMALHO, M. A. P.; LIMA, B. M.; REZENDE, G. D. S. Performance of *Eucalyptus* clones according to environmental conditions. **Scientia Forestalis**, v. 45, p. 601–610, 2017.

TAPPI. **Preparation of wood for chemical analysis** Test Method T264 cm-97, In Tappi Test Methods 2002-2003. Atlanta, GA: Technical Association of the Pulp and Paper Industry.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 416 p.

WEI, X.; BORRALHO, N. M. G. Genetic control of wood basic density and bark thickness and their relationships with growth traits of *Eucalyptus urophylla* in South East China. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 46, n. 4, p. 245-50, 1997.

ZANNE, A.E.; SWEENEY, K; SHARMA, M.; ORIAN, C.M. Patterns and consequences of differential vascular sectoriality in 18 temperate tree and shrub species. **Functional Ecology**, v. 20, p. 200-206, 2006.